

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra technických zařízení budov K11125



STUDIE VLASTNOSTÍ VZDUCHOTECHNICKÉHO POTRUBÍ

STUDY OF PROPERTIES OF VENTILATION DUCTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

STUDIJNÍ PROGRAM

STUDIJNÍ OBOR

AUTOR PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE

INTELIGENTNÍ BUDOVY

INTELIGENTNÍ BUDOVY

Bc. Lukáš Horváth

Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

PRAHA, 2019

Zadanie



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Horváth Jméno: Lukáš Osobní číslo: 476925
Zadávající katedra: katedra technických zařízení budov
Studijní program: Inteligentní budovy
Studijní obor: Inteligentní budovy

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Studie vlastností vzduchotechnického potrubí
Název diplomové práce anglicky: Study of properties of ventilation ducts

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte studii porovnávající různé druhy vzduchotechnického potrubí. Proved'te rešerši stávajících typů na trhu. Porovnejte jejich technické vlastnosti. Pro vybrané typy proved'te experimentální porovnání z hlediska vzduchotěsnosti a útlumu hluku. Zpracujte porovnání z hlediska nákladů investičních a provozních.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN 12599 Větrání budov - Zkušební postupy a měřicí metody pro přejímky instalovaných větracích a klimatizačních zařízení

ČSN EN 12237

Větrání budov - Potrubí - Pevnost a těsnost kovového plechového potrubí kruhového průřezu

Jméno vedoucího diplomové práce: Daniel Adamovský

Datum zadání diplomové práce: 13.2.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 19.5.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

13.2.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prehlásenie

Týmto vyhlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval samostatne, s použitím uvedenej literatúry a vlastných vedomostí.

Praha, 19.5.2019

.....

vlastnoručný podpis

Podakovanie

Chcel by som sa poďakovať Ing. Danielovi Adamovskému, Ph.D. ako vedúcemu diplomovej práce za cenné rady a pripomienky k práci. V neposlednom rade patrí vďaka pánom Mgr. Jiřímu Strnadovi a Ing. Jakubovi Jiráskému zo spoločnosti Saint-Gobain a.s., a pánovi Michalovi Urbánkovi zo spoločnosti IZOLACE ARAX JIHLAVA s.r.o., ktorí mi poskytli materiály, podklady a vlastné vedomosti k produktom CLIMAVÉR. Taktiež im ďakujem za poskytnutie skúšobných vzorkov k experimentálnej časti tejto práce.

Abstrakt

Náplňou tejto diplomovej práce je porovnanie kľúčových vlastností vzduchotechnických potrubí vo viacerých variantoch. Práca je zložená z troch častí. V prvej časti boli porovnané vlastnosti z materiálovej stránky, technických parametrov a druhov spájania jednotlivých častí potrubných elementov. Ďalej boli popísané vlastnosti, ktoré sú dôležité pri návrhu vzduchotechnického systému, a v tomto prípade samotných vzduchovodov. V ďalšej kapitole boli stanovené spomínané kľúčové vlastnosti na reálnych vzorkách experimentálnym spôsobom. Kapitola popisuje zvolenú metódu, jej postup a následne vyhodnocuje získané výsledky. Posledná kapitola je venovaná ekonomickému porovnaniu dvoch druhov vzduchovodov na reálnom objekte z hľadiska investičných a prevádzkových nákladov.

Kľúčové slová

vzduchovod, vzduchotesnosť, tlakové straty, útlm hluku, meranie, CLIMAVÉR, náklady

Abstract

The aim of this thesis is to compare the key features of air conditioning ducts in several variants. The work is composed of three parts. In the first part, the properties from the material side, the technical parameters and the types of joining the individual parts of the pipe elements were compared. Furthermore, the properties that are important in the design of the air handling system and in this case the ducts themselves have been described. In the next chapter, the mentioned key properties were determined on real samples in an experimental manner. The chapter describes the chosen method, its procedure and then evaluates the results obtained. In the last chapter, we dealt with economic comparison of two types of air ducts on a real object in terms of investment and operating costs.

Key words

air duct, airtightness, pressure losses, measurement, CLIMAVÉR, costs

Zoznam symbolov a použitých skratiek

V	prietok vzduchu netesnosťami	$[\text{m}^3/\text{s}]$
Δp	rozdiel tlakov v potrubí a okolí	$[\text{Pa}]$
m	charakteristický parameter netesnosti	$[\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2]$
S_v	povrch vzduchovodu	$[\text{m}^2]$
f_{max}	limit vzduchotesnosti	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}]$
\dot{q}_{v1}	netesnosť vzduchu pri skúšobnom pretlaku/podtlaku Δp_1	$[\text{m}^3/\text{s}]$
\dot{q}_{v2}	netesnosť vzduchu pri strednom prevádzkovom pretlaku/podtlaku Δp_2	$[\text{m}^3/\text{s}]$
v	minimálna rýchlosť	$[\text{m}/\text{s}]$
D_{so}	priemer sondy	$[\text{mm}]$
L_{Woct}	hladina akustického výkonu ventilátora v oktávových pásmach	$[\text{dB}]$
D_i	útlm i-teho elementu v oktávovom pásme	$[\text{dB}]$
D_1	útlm v priamom potrubí	$[\text{dB}/\text{m}]$
f_m	stredný kmitočet v oktávovom pásme	$[\text{Hz}]$
D_2	útlm hluku v kolenách	$[\text{dB}/\text{m}]$
d	šírka ohybu	$[\text{m}]$
D_4	zníženie hluku v rozbočkách	$[\text{dB}]$
S_i	prierez odbočiek, do ktorých sa šíri hluk	$[\text{m}]$
S_k	prierez odbočky, do ktorej sa šírenie hluku určuje	$[\text{m}]$
D_5	útlm hluku pri rozšírení vzduchovodu	$[\text{dB}]$
Δp_t	tlaková strata trením	$[\text{Pa}]$
l	dĺžka potrubia	$[\text{m}]$
d	priemer potrubia	$[\text{m}]$
w	rýchlosť dopravovaného vzduchu	$[\text{m}/\text{s}]$
λ	súčiniteľ trecích strát	$[-]$
p_d	dynamický tlak	$[\text{Pa}]$
ρ	hustota vzduchu	$[\text{kg}/\text{m}^3]$

ε	drsnosť potrubia	[-]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
Δp_m	tlaková strata miestnymi odpormi	[Pa]
ζ	súčiniteľ miestnej straty	[-]
v_s	stredná rýchlosť	[m.s ⁻¹]
Q_v	objemový prietok	[m ³ .s ⁻¹]
K_{kb}	konštanta určujúca vlastnosti primárneho prvku prietokomeru	[-]
q_v	množstvo uniknutého vzduchu pri danom testovacom pretlaku/podtlaku	[m ³ .s ⁻¹]
A	plocha potrubia	[m ²]

Obsah

Úvod	10
1 Teoretický základ	11
1.1 Vzduchovody.....	11
1.2 Riešenia vzduchovodov	11
1.2.1 Potrubie z ocelového pozinkovaného plechu	12
1.2.2 Materiál	12
1.2.3 Spoje	13
1.2.4 Izolácia	14
1.3 Potrubie z dosiek zo sklenej vlny CLIMAVER	15
1.3.1 Materiál	15
1.3.2 Spoje	16
1.4 Plastové potrubie	17
1.4.1 Materiál	17
1.4.2 Spoje	18
1.5 Vzduchotesnosť	18
1.5.1 Normové požiadavky	20
1.5.2 Metodika merania	22
1.6 Hluk vo vzduchotechnike	26
1.6.1 Zdroje hluku.....	26
1.6.2 Šírenie hluku	26
1.6.3 Útlm hluku v potrubnej sieti	27
1.6.4 Normové požiadavky	29
1.6.5 Metodika merania	31
1.6.6 Akustická skúška vzduchotechnických koncových jednotiek	33
1.6.7 Skúška s prúdením	34
1.7 Tlakové straty	35
1.7.1 Tlakové straty trením	35
1.7.2 Tlakové straty miestnymi odpormi	36
1.7.3 Tlakové pomery vo vzduchovodoch	37
1.7.4 Metodika merania	38
2 Experimentálna časť	41
2.1 Návrh experimentu	41

2.2	Skúšobné vzorky	41
2.3	Popis meracej trate	43
2.4	Použité prístroje.....	45
2.5	Postup pri skúške tlakových strát	50
2.5.1	Zhotovenie meracej trate.....	50
2.5.2	Pripojenie zariadenia na meranie	50
2.5.3	Meranie	51
2.5.4	Výsledky merania	53
2.5.5	Zhodnotenie výsledkov	60
2.6	Postup pri skúške vzduchotesnosti	60
2.6.1	Zhotovenie meracej trate.....	60
2.6.2	Pripojenie zariadenia na meranie	60
2.6.3	Meranie	61
2.6.4	Výsledky merania	62
2.6.5	Zhodnotenie výsledkov	63
2.7	Postup pri skúške útlmu hluku v potrubí.....	64
2.7.1	Zhotovenie meracej trate.....	65
2.7.2	Pripojenie zariadenia na meranie	65
2.7.3	Meranie	66
2.7.4	Výsledky merania	67
2.7.5	Zhodnotenie výsledkov	70
3	Porovnanie z ekonomického hľadiska.....	72
3.1	Investičné výdaje	72
3.1.1	Zhodnotenie výsledkov	74
3.2	Prevádzkové náklady.....	74
3.2.1	Zhodnotenie výsledkov	77
4	Záver.....	78
	Literatúra	79
	Zoznam obrázkov	81
	Zoznam tabuliek	83
	Prílohy	84

Úvod

Pri definovaní inštalácie vzduchotechnických systémov je komfort najdôležitejšou prvotnou úvahou a taktiež je hlavným dôvodom pre samotnú inštaláciu týchto systémov v budovách. Ako prvý krok je potrebné určiť parametre, ktoré nám komfort determinujú. Tými sú teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, výmena vzduchu, akustické parametre a pod. Tieto parametre by mali byť regulované tak, aby poskytovali užívateľovi pocit pohodlia. To však musí byť dosiahnuté racionálnym a účinným využívaním energie, v zmysle šetrenia prírodných zdrojov a taktiež financií.

Rozvodná sieť vzduchotechnických potrubí je dôležitou súčasťou inštalácie vzduchotechnického a klimatizačného zariadenia, ktoré môžu výrazne ovplyvniť počiatočné náklady pri zriaďovaní systému ako aj náklady na energie a produkovaný hluk spôsobený zariadením systému.

Táto záverečná práca je venovaná porovnaniu vlastností vzduchotechnických potrubí. Práca je rozdelená na tri časti.

V prvej kapitole je pozornosť upriamená na porovnanie troch typov vzduchovodov z hľadiska materiálového vyhotovenia, technických parametrov a možností spojovania. Taktiež je zameraná na dôležité technické vlastnosti vzduchovodov, ktoré ovplyvňujú návrh, náklady a prevádzku vzduchotechnického systému. Konkrétne popisuje vzduchotesnosť, tlakové straty a útlm hluku v potrubí. Orientuje sa na príslušné normové požiadavky, a aj podľa týchto noriem teoreticky opisuje spôsoby merania, akými je možné stanoviť parametre jednotlivých vlastností.

Druhá kapitola je venovaná experimentálnej časti, kde sú zisťované parametre vzduchotesnosti, tlakových strát a útlmu hluku na dvoch zvolených vzorkách vzduchovodov. Popisuje zvolený skúšobný postup, meraciu trať, použité prístroje a súčasti pre každú z troch skúšok. Všetky odmerané parametre sú následne spracované a vyhodnotené do prehľadnej podoby.

V tretej kapitole sú vyčíslené investičné náklady a náklady na prevádzku pri dvoch vybraných typoch vzduchovodov na konkrétnom objekte. Súčasťou tejto časti je projektová dokumentácia, ktorá zahŕňa výkresovú časť a výkazy výmer s cenovou ponukou pre obe varianty riešenia vzduchotechnického systému.

1 Teoretický základ

1.1 Vzduchovody

Vo vzduchotechnických systémech je vzduchovod uvažovaný ako potrubný rozvod, statická súčasť inštalácie, cez ktorú prúdi vzduch a spája všetky časti systému, prostredníctvom ktorého je čerstvý vzduch privedený do príslušných miest. Tieto vzduchotechnické rozvody môžu byť vyrábané ako v kruhom, tak v štvorhrannom priereze. Z aerodynamického hľadiska sú vhodnejšie kruhové vzduchovody, ktoré sa navyše menej znečisťujú a taktiež i spotreba materiálu je nižšia pri rovnakom priereze v porovnaní so štvorhrannými vzduchovodmi. Pri použití štvorhranného potrubia sa však dokážeme lepšie prispôsobiť objektu, avšak na úkor tlakových strát pomer strán prierezu tohto potrubia by z aerodynamického hľadiska nemal byť väčší ako 1:4. (1)

Vzduchové kanály by mali byť v ideálnom prípade vybavené vlastnou tepelnou izoláciou. Tepelne izolačné materiály ako je napríklad sklená vlna alebo aj iné izolácie novej generácie minerálnej vlny majú ďalšiu výhodu, a to významné zníženie hluku. Prevádzkový hluk a hluk prúdenia vzduchu sú prakticky eliminované pri použití sklenej vlny v systémoch založených na izolačných doskách ako sú napríklad produkty CLIMAVER.

1.2 Riešenia vzduchovodov

Vzduchotechnické potrubie je prvok inštalácie, v ktorom je vzduch distribuovaný, vrátane jeho prívodu, odvodu atď.(1) Vzduchovod je zložený z priamych kusov a tvaroviek. Pre prívod vonkajšieho vzduchu sa pri veľkých objektoch môžu použiť murované alebo betónové kanály, ktoré sú zároveň súčasťou konštrukcie objektu. Pre veľkú tepelnú kapacitu sa však nesmú slúžiť na distribúciu už upraveného vzduchu v budove.(2) Vlastnosti kanálov určujú do značnej miery kvalitu prevedenia systému, nakoľko majú zásadný vplyv na určité faktory ako sú napríklad úspora energie alebo akustické vlastnosti systému.

Z materiálového hľadiska rozlišujeme viacero typov vzduchovodov:(3)

- Z oceleového pozinkovaného plechu
- Z rôznych plastov (polypropylén, novodur, PVC)
- Z hliníka

- Zo silikátových hmôt
- Z tuhých dosiek zo sklenej vlny alebo polystyrénu
- Murované alebo betónové
- Textilné

1.2.1 Potrubie z ocelového pozinkovaného plechu

Toto potrubie je vyrobené z plechu štvorhranného alebo kruhového prierezu s vrstvou zinku 275 g/m^2 . Štvorhranné vzduchovody sú vyrobené z ocelevej tabule plechu alebo zvitku.(3) Hrúbka plechu je v rozmedzí od 0,3 do 5 mm.(1) Rozmery potrubia sú normalizované, životnosť sa odhaduje na 20 až 30 rokov.

V tab. 1 je znázornené rozdelenie vzduchovodov z hľadiska tlakového prevedenia.
(4)

tab. 1 Tlakové prevedenie (prevzaté z (4))

Tlakové prevedenie	Max. tlakový rozdiel Δp
Nízkotlaké (ND)	Do 630 Pa
Vysokotlaké (HD1)	Od 630 Pa do 1600 Pa
Vysokotlaké (HD2)	Od 1600 Pa do 2500 Pa

1.2.2 Materiál

„Vzduchotechnické štvorhranné potrubia sa vyrábajú z atestovaných základných materiálov, ktoré sú vyrobené z obojstranne pozinkovaného plechu.“(4) Pre výrobu kruhových vzduchovodov sa používa plech špirálovo vinutý s minimálnou vrstvou zinku 275 g/m^2 .(5) Štvorhranné potrubie je tvarovo prispôsobivejšie, zaberá menej miesta ako kruhové pri rovnakom priereze.

Štandardné rozmery používaných plechov pre štvorhranné vzduchovody:(4)

- tabuľa 1000 x 2000 mm
- tabuľa 1250 x 2000 mm
- tabuľa 1500 x 2000 mm
- zvitok šírky 500, 1000 a 1500 (max. 4500 kg/ks)

Štandardné dĺžky kruhových vzduchovodov:(5)

- 1000 mm

- 3000 mm
- 5000 mm

1.2.3 Spoje

Pre štvorhranné vzduchovody musí byť spojovací materiál pozinkovaný. Ako spojovací materiál pre vzduchotechnické potrubie sa používajú:(4)

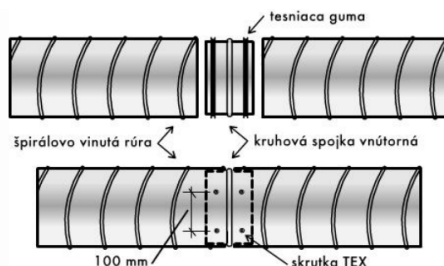
- texo samorezná skrutka
- profilové príruby
- rohovníky
- skrutky, matice
- sťahovacie svorky

Rohové oblasti spojov sú utesnené akrylovým tmelom.

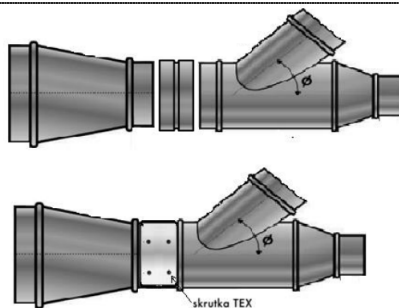
Jednotlivé potrubné dielce – rúra, oblúk, koleno, prechody, rozbočky – sú spojované falcovaním, pri výrobe kusov do dĺžky 300 mm sa zvyčajne používa bodovanie. Montáž príruby z uholníkov na potrubie sa je prevedená nasunutím príruby na potrubie tak, aby plech potrubia bol medzi dvoma plechmi príruby.(4)

Pre spojenie vzduchovodov kruhového prierezu sa používajú samostatné komponenty – kruhové spojky vnútorné alebo vonkajšie, prípadne sú spoje prevedené bez spojky:(5)

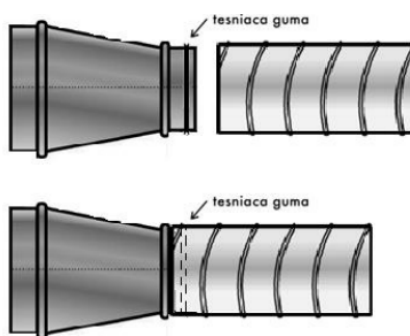
- Spájanie potrubia rovnakého prierezu sa vykonáva vsunutím vnútornej spojky do rúry a spoj sa zafixuje Texo samoreznými skrutkami.
- Spájanie dvoch tvarových kusov sa vykonáva pomocou vonkajšej spojky a spoj sa zafixuje Texo samoreznými skrutkami.
- Spájanie potrubia a tvarového kusu sa vykonáva tak, že sa tvarový kus vsunie do potrubia (bez spojky) a zafixuje sa pomocou Texo samorezných skrutiek.



obr. 1 Spájanie potrubia rovnakého rozmeru – vnútorná spojka (prevzaté z(5))



obr. 2 Spájanie dvoch tvarových kusov – vonkajšia spojka (prevzaté z (5))



obr. 3 Spájanie potrubia a tvarového kusu – bez spojky (prevzaté z (5))

1.2.4 Izolácia

Na izolovanie vzduchovodov sa používajú spravidla dosky alebo rohože z minerálnej vlny či z penového polyetylénu. Môžu plniť rôzne funkcie:(3)

- tepelnoizolačnú - vzhľadom na to, že kov je dobrý tepelný vodič, toto potrubie vyžaduje tepelnú izoláciu. Používajú sa v prípade, ak má distribuovaný vzduch inú teplotu ako má okolité prostredie. Takýmto spôsobom dokážeme obmedziť ako tepelné straty, tak aj kondenzáciu vodnej pary na povrchu potrubia (pri doprave podchladeného vzduchu). Hrúbka izolácie sa vypočíta na základe teploty distribuovaného vzduchu a teploty okolia, vlhkosti a rosného bodu vzduchu na strane, kde je predpoklad kondenzácie. Ďalej závisí aj na tepelnej vodivosti izolačného materiálu. Štandardné hrúbky, ktoré sa pri tepelných izoláciách používajú sa pohybujú od 40 do 100 mm pri minerálnej vlne, pri izoláciách z penového polyetylénu môžu byť až polovičných hrúbok;
- akustickú – slúžia na chránenie distribuovaného vzduchu v potrubí pred hlukom zvonku alebo chráni akustickú mikroklimu v objekte pred hlukom neseným vzduchom v potrubí;

- protipožiaru – v niektorých prípadoch môžu nahradiť požiaru klapku.



obr. 4 Zateplenie vzduchovodov izoláciou z minerálnej vlny s hliníkovou fóliou (prevzaté z (6))

1.3 Potrubie z dosiek zo sklenej vlny CLIMAVER

Vzduchovody sú pri tomto druhu vyrobené z dosiek zo sklenej vlny hr. 25 (40) mm a sú obojstranne potiahnuté špeciálnou povrchovou úpravou, ktorá závisí na type potrubia CLIMAVER.(7)

Systém CLIMAVER zahŕňa hneď niekoľko typov vzduchovodov, ktorých vlastnosti umožňujú jeho použitie v rôznych aplikáciách:

CLIMAVER Plus - vonkajšia aj vnútorná strana panelu je potiahnutá hliníkovou fóliou, vystuženou sklenými vláknami, ktorá plní funkciu parozábrany,

CLIMAVER Neto - vonkajšia strana panelu je potiahnutá hliníkovou fóliou, vystuženou sklenými vláknami, ktorá plní funkciu parozábrany. Vnútorný povrch kanálu je chránený antibakteriálnou tkaninou zo sklených vlákien s vysokou mechanickou odolnosťou,

CLIMAVER Deco - vonkajšia strana panelu je potiahnutá farebnou textíliou. Vnútorný povrch kanálu je chránený antibakteriálnou tkaninou zo sklených vlákien s vysokou mechanickou odolnosťou,

CLIMAVER Apta - vonkajšia strana panelu je potiahnutá hliníkovou fóliou, vystuženou sklenými vláknami, ktorá plní funkciu parozábrany. Vnútorný povrch kanálu je chránený antibakteriálnou tkaninou zo sklených vlákien.

1.3.1 Materiál

Vzduchotechnické potrubie systému CLIMAVER je vyrobené zo sklenej vlny lisovanej zatepla tvrdenej pryskyricami. Jedna zo strán, ktorá vytvorí vonkajší povrch

vzduchovodu, je polepená kombináciou materiálov vytvárajúcich parotesnú vrstvu a zaisťujúcu u nepriepustnosť u vzduchovodov. Druhá strana, t.j. vnútorná strana vzduchovodu, môže mať polep zo sklenej tkaniny alebo polep hliníkový.(8)

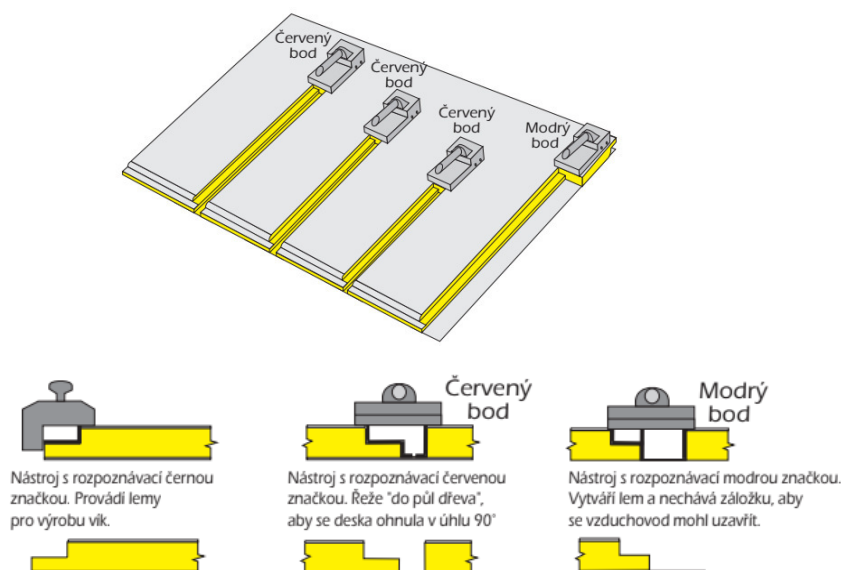
Tento systém sa dodáva v štandardných rozmeroch, a to:(7)

- CLIMAVER Plus, Neto a Deco – 3000 x 1190 mm (hrúbka 25 mm)
- CLIMAVER Apta – 3000 x 1210 mm (hrúbka 40 mm)

1.3.2 Spoje

Výroba rôznych tvaroviek a priamych kusov vzduchovodnej siete začína narysovaním rôznych dielcov na dosku, tie sa potom narežú a zmontujú všetky dohromady s použitím malého počtu ľahkého náradia a jednoduchou manipuláciou.

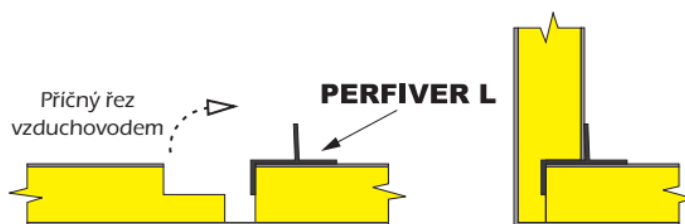
Pre rezanie dosiek sa používajú oceľové britvy, ktoré slúžia pre celý rad tohto systému. Sú odlišené farbou a každá z nich vykonáva iný typ rezu.(8)



obr. 5 Náradie na rezanie priamych kusov a tvaroviek systému CLIMAVER (prevzaté z ((8))

Potrubie a tvarovky sú utesnené dvojakým tesnením. Tesnenie vonkajšie je obzvlášť nepriepustné a úniky vzduchu sú zanedbateľné, pokiaľ sú vzduchovody správne vyrobené a zmontované. Jedná sa o samolepiacu hliníkovú pásku. U priečných spojov medzi vzduchovodmi a pozdĺžnych spojov panelov sa utesňovacie vykonáva až po prispinkovaní vonkajšieho polepu. Druhé tesnenie je tesnenie vnútorné, ktoré sa vykonáva pomocou lepidla určeného na sklenú vlnu. Toto utesnenie sa používa povinne k vytvoreniu tvaroviek.

Ako súčasť tohto systému je vhodné spomenúť profil PERFIVER L, ktorého účelom je spevniť a zakryť vnútorné pozdĺžne špáry vzduchovodov. Profil PERFIVER H zase lemuje hrany dosky z minerálnej vlny v napojeniach na koncové prvky, na strojné jednotky (pružné spoje, kovové príruby) a na revízne otvory, požiarné klapky, atď.(8)



obr. 6 Profil PERFIVER L (prevzaté z (8))



obr. 7 Profil PERFIVER H (prevzaté z (8))

1.4 Plastové potrubie

Vzduchotechnické potrubie z plastov nachádza uplatnenie vo všetkých oblastiach priemyselnej výroby. Má dlhú životnosť, chemickú odolnosť voči všetkým bežným kyselinám a liehom, agresívnym parám a parám s veľkým obsahom vlhkosti.

Hladký vnútorný povrch a plynulosť rozvodov umožňujú laminárne prúdenie vzduchu aj pri vyšších prevádzkových rýchlostiach.(9)

1.4.1 Materiál

Najčastejšie používanými materiálmi sú PVC, PP, PP-s a PE. Je možné takéto potrubie vyrobiť aj s elektricky vodivých plastov PP-s-EL a PE-EL. Tieto materiály sa používajú spravidla pri odsávaní výparov s nebezpečím výbuchu do prostredia.

Priame kusy sa vyrábajú v štandardnej dĺžke do 2000 mm. Kruhovité potrubie je dodávané v priemeroch od 75 do 1000 mm z dosiek technológiou tvarovaním za tepla a zvarovaním horúcim plynom. Je vyrobené z materiálu v hrúbkach:(9)

- PVC $\phi 75$ až $\phi 1000$ 3 – 6 mm

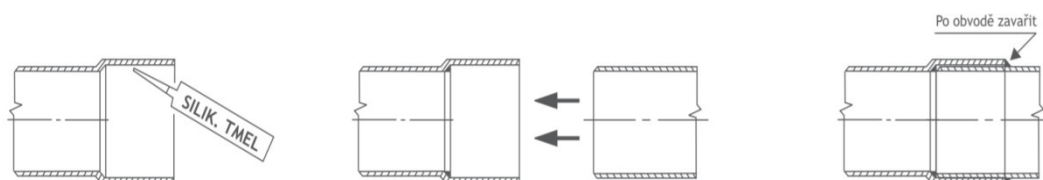
- PP $\phi 75$ až $\phi 1000$ 2 – 6 mm

Štvorhranné potrubie je vyrábané v menovitých rozmeroch A (B), ktoré sa pohybujú od 100 do 1000 mm. Maximálny pomer strán prierezu by nemal prekročiť pomer 1:5. Vyrába sa z materiálov v hrúbkach:(9)

- PVC od 100 do 1000 mm 3 – 6 mm
- PP od 100 do 1000 mm 3 – 6 mm

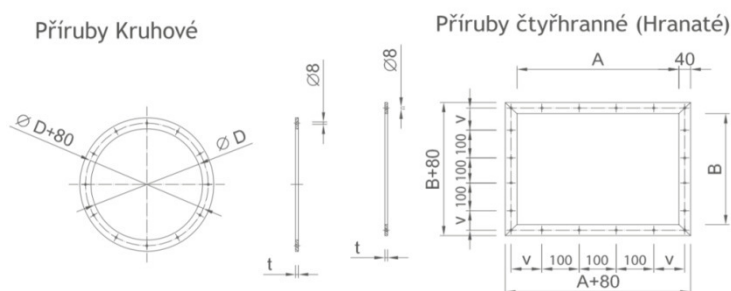
1.4.2 Spoje

Pre menšie dimenzie kruhového a štvorhranného potrubia alebo tam, kde je požadovaná zvýšená tesnosť potrubia sa používa nerozoberateľné spojenie na hrdlá. Dovnútra hrdla sa naniesie tmel. Potom sa nasunú dva nadväzujúce kusy do seba a nakoniec sa celý spoj zavarí po obvode drôtom.(9)



obr. 8 Spájanie plastového potrubia na hrdlo

Pre väčšie dimenzie kruhového a štvorhranného potrubia sa používajú príruby.



obr. 9 Príruby pre spojenie plastového potrubia (prevzaté z (9))

Ako spojovací materiál sa používajú skrutky M6 alebo M8, matice a podložky upravené zinkovaním, prípadne nerezové. Ako tesniaci materiál najčastejšie silikónový tmel a samolepiace pryžové tesnenie s chemickou odolnosťou.(9)

1.5 Vzduchotesnosť

Pri distribúcii vzduchu potrubím môže časť vzduchu unikať alebo naopak časť vzduchu vnikáť do vzduchovodu netesnosťami. Pojem vzduchotesnosť sa vzťahuje na

množstvo vzduchu, ktoré uniká alebo sa infiltruje do potrubného systému pri určitom statickom tlaku cez konštrukciu potrubia a jeho častí v čase. Vzduchotesnosť vo vzduchovom kanáli je dôležitým ukazovateľom systému vetrania a klimatizácie a taktiež ukazovateľom zníženia spotreby energie.

Najčastejšie sú tieto netesnosti spôsobené nekvalitne prevedenými spojmi vzduchovodov, prípadne neodbornou montážou tepelnej izolácie (navarovacie trne). Vzduch prenikajúci netesnosťami vykazuje nehospodárnosť vzduchotechnického systému a takisto môže byť príčinou nedostatočného výkonu zariadenia. Vzduchotesnosť potrubia by mala spĺňať dané požiadavky rovnako ako aj vzduchotechnická jednotka, pretože účinnosť vysoko účinnej vzduchotechnickej jednotky môže byť znehodnotený práve netesnosťami vzduchovodov a ostatných komponentov vzduchotechnického systému. Prietok vzduchu netesnosťami učíme zo vzťahu: (1)

$$V = m \Delta p^{0,65} S_v \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

kde:

Δp	rozdiel tlakov v potrubí a okolí	[Pa]
m	charakteristický parameter netesnosti	$[\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2]$
S_v	povrch vzduchovodu	$[\text{m}^2]$

Následky únikov vzduchu zo vzduchovodov sú rôzne a prejavujú sa rôznymi spôsobmi. Patria tam:(10)

- nežiadúce zvuky
- nutnosť návrhu väčšieho zariadenia
- nekontrolovaný prívod/odvod vzduchu do/z iných častí budovy
- odchýlky v množstve vzduchu
- prenikanie nečistôt

To nám zapríčiní nutnosť inštalácie protihlukových opatrení, zvýšenú spotrebu energie na dopravu vzduchu a vyrovnanie tepelných strát, obmedzenú použiteľnosť, prípadne nutnosť hygienických, zdravotných a ekologických opatrení. Všetko vyššie spomenuté vyvodí zvýšené náklady.

V zdravotníckych a výrobných objektoch je štandardom meranie tesnosti vzduchotechnického systému. V ostatných typoch objektov to môže byť zaujímavé

a motivujúce hlavne pri úsporách prevádzkových nákladov z dlhodobého časového horizontu.

1.5.1 Normové požiadavky

Existuje viacero noriem a predpisov, ktoré sa zaoberajú meraním vzduchotesnosti a jeho vyhodnotenia.

ČSN EN 12599 Větrání budov – Zkušební postupy a měřicí metody pro přejímky instalovaných větracích a klimatizačních zařízení

Táto norma určuje kontroly, skúšobné metódy a meracie prístroje, ktoré slúžia k overeniu spôsobilosti inštalovaných zariadení v čase preberania. Norma umožňuje voľbu medzi zjednodušenými skúšobnými metódami, ak sú adekvátne alebo, ak je nutné, rozšírenými metódami. Neurčuje postup zostavovania, nastavovania alebo vyvažovania systému ani postup kontrol vnútorného riadenia kvality pred preberaním. Vztahuje sa na vetracie a klimatizačné systémy navrhnuté za účelom zachovania pohody v budovách, okrem obytných budov. (11)

ČSN EN 1507 – Kovové plechové potrubí pravouhlého průřezu – Požadavky na pevnost a těsnost

Táto norma upresňuje požiadavky a metódy merania pre pevnosť a únik vzduchu potrubím pravouhlého prierezu. Účelom tejto normy je určiť pevnosť a tesnosť potrubia a to takú, pri ktorej sú parametre pre dané využitie vyhovujúce.

Jednotlivé kategórie tesnosti potrubia sú zaznamenaná v tab. 5

tab. 2 Faktor vzduchotesnosti potrubia podľa ČSN EN 1507 (prevzaté z (12))

Kategória tesnosti	Limit vzduchotesnosti $f_{\max} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}]$	Medza statického tlaku PS [Pa]			
		Tlakové stupne - podtlak	Tlakové stupne - pretlak		
			1	2	3
A	$0,027 \times p_{\text{test}}^{0,65} \times 10^{-3}$	200	400	-	-
B	$0,009 \times p_{\text{test}}^{0,65} \times 10^{-3}$	500	400	1000	2000
C	$0,003 \times p_{\text{test}}^{0,65} \times 10^{-3}$	750	400	1000	2000
D	$0,001 \times p_{\text{test}}^{0,65} \times 10^{-3}$	750	400	1000	2000

Eurovent 2/2 – Vzduchotesnost' plechových rozvodov vzduchu

Napriek tomu, že sa úniky vzduchu objavujú v pozdĺžnych spojoch potrubí a v spojoch jednotlivých komponentov, je faktor tesnosti vzťahovaný k ploche potrubia. K určitému úniku vzduchu v potrubí štandardného vzduchotechnického potrubia dôjde vždy. Poškodenie potrubia nevhodnou manipuláciou pri transporte, skladovaním a pri montáži sa možné riziko úniku vzduchu výrazne zvyšuje.(13)

Obmedzenie úniku vzduchu je požadované z jedného alebo viacerých nasledujúcich dôvodov:(13)

- vyhnúť sa dodatočným poplatkom a nadmernej spotrebe energie vyplývajúcej z inštalácie naddimenzovanej alebo neefektívnej vzduchotechnickej jednotky
- vyhnúť sa zvýšenému množstvu práce a nákladov v dôsledku dodatočného utesnenia potrubia tam, kde je požadovaná vysoká tesnosť
- minimalizovať hluk spojený s únikom vzduchu

tab. 3 Faktor tesnosti podľa Eurovent 2/2 (prevzaté z (13))

Trieda	Max. faktor tesnosti f	Pretlak vzduchu v potrubí PS			
	[m ³ .s ⁻¹ .m ⁻²]	2000 Pa	1000 Pa	400 Pa	200 Pa
A	f _A	-	2,4.10 ⁻³	1,32.10 ⁻³	0,84.10 ⁻³
B	f _B	-	0,8.10 ⁻³	0,44.10 ⁻³	0,28.10 ⁻³
C	f _C	0,42.10 ⁻³	0,28.10 ⁻³	0,15.10 ⁻³	-

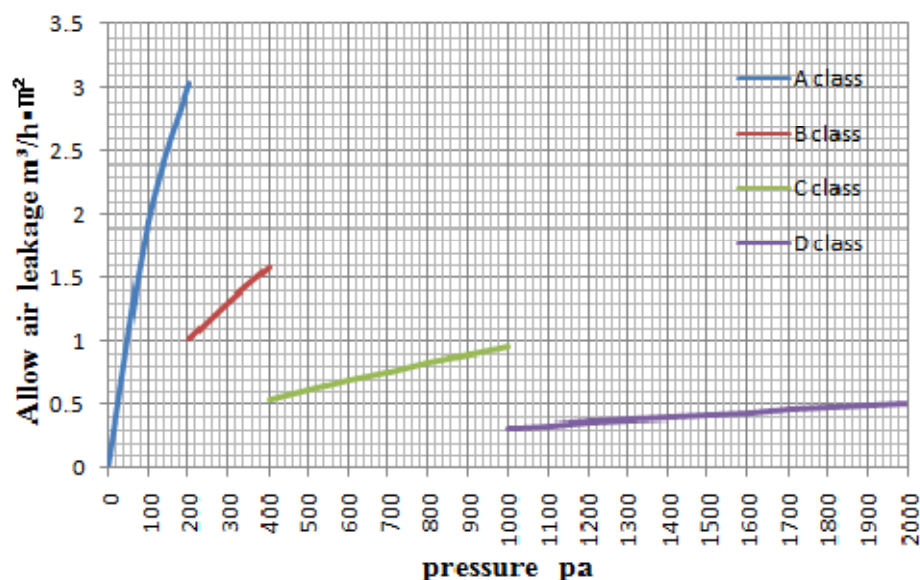
ČSN EN 16798-3 Energetická náročnosť budov – Větrání budov – Část 3: Větrání nebytových budov – Základní požadavky na větrací a klimatizační zařízení

Táto európska norma nahradzuje už neplatnú normu ČSN EN 13779. Vzťahuje sa na projektovanie, energetickú hospodárnosť budov a implementáciu systémov vetrania, klimatizácie a klimatizácie miestností pre nebytové budovy, v ktorých sa zdržiavajú ľudia, s výnimkou aplikácií ako sú priemyselné procesy. Zameriava sa na definície rôznych parametrov, ktoré sú relevantné pre takéto systémy. Usmernenie pre konštrukciu uvedené v tejto európskej norme sa vzťahuje najmä na systémy

mechanického napájania a / alebo odsávania. Táto európska norma sa nevzťahuje na prirodzené ventilačné systémy alebo prírodné časti hybridných ventilačných systémov, ani sa nezaobrá aplikáciami na vetranie obytných priestorov.

tab. 4 Klasifikácia tried tesností podľa jednotlivých noriem

Limit/faktor vzduchotesnosti $f_{\max} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}]$	Trieda tesnosti podľa EN 12237 a EN 1507	Trieda tesnosti podľa Eurovent 2/2	Pôvodná trieda tesnosti podľa DIN 24194 – časť 2
$0,027 \times p_{\text{test}}^{0,65}$	A	A	II
$0,009 \times p_{\text{test}}^{0,65}$	B	B	III
$0,003 \times p_{\text{test}}^{0,65}$	C	C	IV
$0,001 \times p_{\text{test}}^{0,65}$	D	-	-



obr. 10 Graf znázorňujúci triedy tesnosti podľa EN 12237 a EN 1507 v závislosti statického tlaku na povolenom množstve uniknutého vzduchu

1.5.2 Metodika merania

Princípom merania vzduchotesnosti je kombinácia merania prietoku vzduchu a tlaku v potrubí. Všetky privody aj odvody vzduchu ako aj jednotky pripojené na systém rozvodov by mali byť riadne utesnené, napríklad použitím plastovej fólie a lepiacej pásky. Nafúknuté vaky (balóny) môžu byť taktiež použité pre utesnenie potrubia kruhového prierezu. K už utesnenému rozvodu pripraveného na skúšku tesnosti sa pripojí ventilátor cez meracie zariadenie. Vytvorí sa skúšobný pretlak (pri prívodnom

potrubí) alebo podtlak (na odsávacom potrubí). Pri pretlaku je doporučené podľa normy ČSN EN 12599 nastaviť skúšobný tlak na prívodnom vzduchovode na hodnotu 200 Pa, 400 Pa alebo 1000 Pa. Pri podtlaku to je pre odsávacie potrubie hodnota 200 Pa, 400 Pa alebo 750 Pa. Tieto hodnoty by mali byť zvolené čo najbližšie k priemernému prevádzkovému tlaku systému.

Ak potrebujeme overiť triedu tesnosti A alebo B, je možné, že pri veľkom povrchu vzduchovodov nedosiahneme požadované menovité hodnoty tlaku. Pri takomto prípade vieme stanoviť triedu tesnosti pri nižšom tlaku a stanoviť približný výpočet prietoku vzduchu netesnosťami podľa vzorca: (11)

$$\frac{\dot{q}_{v1}}{\dot{q}_{v2}} = \left(\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} \right)^{0,65}$$

kde:

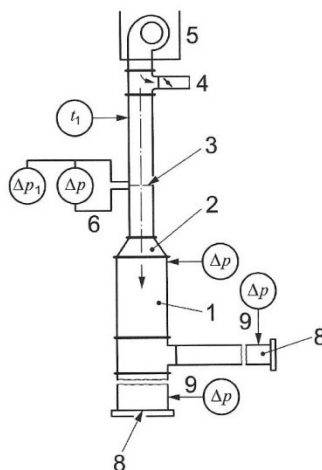
\dot{q}_{v1} netesnosť vzduchu pri skúšobnom pretlaku/podtlaku Δp_1

\dot{q}_{v2} netesnosť vzduchu pri strednom prevádzkovom pretlaku/podtlaku Δp_2

Δp pretlak/podtlak

Pričom stredný prevádzkový pretlak/podtlak je aritmetickým priemerom statického pretlaku/podtlaku na začiatku a na konci úseku vzduchovodu. (11)

Na obr. 16 je znázornené principiálne usporiadanie merania vzduchotesnosti. Ventilátor s regulovateľným prietokom vzduchu dopravuje vzduch do testovacieho potrubného rozvodu alebo naopak, vzduch z neho nasáva cez meraciu časť, ktorá obsahuje kalibrované škrtiace zariadenie. Meriame tým statický pretlak/podtlak vo vzduchovode.



Legenda

- | | |
|---|---|
| 1 | úsek meraného vzduchovodu |
| 2 | prechodový kus |
| 3 | zariadenie na meranie prietoku |
| 4 | obtok (regulácia prepúšťaním) |
| 5 | ventilátor |
| 6 | meranie tlaku (pre stanovenie prietoku) |
| 8 | zaslepené (utesnené) otvory |
| 9 | nastavovaný pretlak/podtlak |

obr. 11 Zariadenie pre meranie vzduchovej tesnosti (prevzaté z (11))

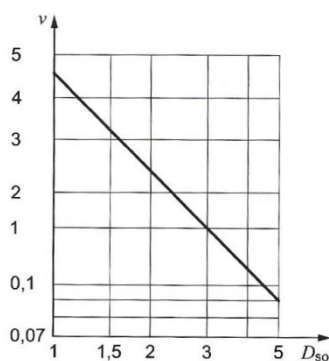
Veličina, ktorú skutočne meriame je tlakový rozdiel. Preto je potrebné uviesť pre každé meranie vzťažný tlak.

1.5.2.1 Meracie zariadenia a časti

Pre meranie malých tlakových rozdielov sa používajú kvapalinové alebo elektronické manometre, pre vyššie tlaky a ich rozdiely sú to piestové, deformačné alebo elektronické manometre. Jednotlivé prístroje, ich rozsahy ako aj ich neistoty merania uvádza norma ČSN EN 12599. (11)

Merací bod má byť umiestnený vo vzťažnom priereze. Otvory pre tieto body na zistenie statického tlaku vo vzduchovode majú byť kolmé k vnútornému povrchu vzduchovodu. Otvory majú byť bez ostrých hrán. Priemer otvorov by mal byť čo najmenší, a to 0,5 a 3 mm. Meranie tlaku by sa malo vykonávať na mieste, kde je prúdenie rovnobežné so stenou potrubia. Platí, že kde je nižšia rýchlosť prúdenia tekutiny, tam je meranie presnejšie, preto sa volia práve takéto miesta. (11)

Prietok vzduchu je možné zistiť meraním rýchlosti. Nato sa používajú zvyčajne Prandtlove sondy v spojení s kvapalinovými alebo elektronickými tlakomermi. Ak je vzdialenosť od stredu sondy k stene potrubia dvakrát väčšia ako jej priemer a zároveň Reynoldsovo číslo $Re > 300$ (vypočítané pre priemer sondy), nie je potrebné výsledky korigovať. (11)

**Legenda**

v minimálna rýchlosť [m/s]

D_{so} priemer sondy [mm]

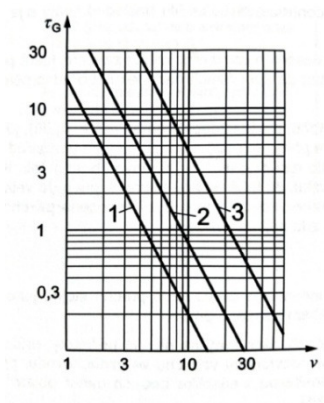
obr. 12 Vzťah medzi minimálnou rýchlosťou v a priemerom sondy D_{so} (prevzaté z (11))

Meracie prístroje musia byť umiestnené takým spôsobom, že budú spolu so všetkým príslušenstvom zasahovať iba do zanedbateľnej časti celkového prietokového prierezu. Otvory okolo sond musia byť utesnené, hlavne tam, kde je tlak v potrubí nižší ako tlak vonku. (11)

1.5.2.2 Neistoty merania

Neistotu merania pre tlakový rozdiel meraný manometrami je udávaná pre jednotlivé prístroje v norme ČSN EN 12599.

Neistoty merania spôsobené metódami merania pri zisťovaní prietoku vzduchu kalibrovaným škrtiacim zariadením je daná kalibráciou. Neistota merania spôsobená meracím zariadením pre meranie tlakového rozdielu pomocou Prandtlovej sondy je znázornená na obr. 13



obr. 13 Relatívna neistota meranej hodnoty rýchlosti vzduchu Prandtlovými sondami s meracím zariadením tlakového rozdielu pre rôzne rozlíšenia (prevzaté z (11))

1.6 Hluk vo vzduchotechnike

Zvuk je možné definovať ako akustický tok, ktorý je prirodzeným prejavom prírodných dejov, technologických procesov a životného prostredia človeka. Hluk radíme medzi zvuk, ktorý spôsobuje rušivé, niekedy aj škodlivé účinky spravidla na človeka. Chvenie je charakterizované ako prejav zvukových vln v tuhých telesách. Pri vytváraní vnútornej mikroklimy budov vzduchotechnickým zariadením sa pri jeho prevádzke zvuk prejavuje ako hluk a chvenie s negatívnym účinkom na interné prostredie. Hlavnými zdrojmi hluku a chvenie sú pri vzduchotechnike ventilátory, práčky vzduchu, vzduchovody a koncové elementy.(3)

1.6.1 Zdroje hluku

Hlučnosť vo vzduchotechnickom zariadení spravidla zapríčiňujú:(14)

- aerodynamické účinky vo ventilátoroch (obtekanie vzduchu cez lopatky, turbulencie),
- mechanické účinky vo ventilátoroch (nevyváženosť rotujúcich častí, hluk v ložiskách, prevodoch, spojkách, elektromotoroch, atď.),
- aerodynamický hluk, ktorý vzniká vo vzduchovodoch, koncových elementoch (výustky, regulačné klapky, atď.) a tlmičoch,

1.6.2 Šírenie hluku

Pri šírení zvuku potrubím ide o šírenie hluku vzduchom do výtláčného a sacieho potrubia ventilátoru.(14) Akustický výkon v oktávových pásmach sa vplyvom prirodzených útlmov v jednotlivých častiach potrubných rozvodov znižuje podľa vzťahu: (14)

$$L_{Woct} = L_{Woct} - \sum_{i=1}^n D_i$$

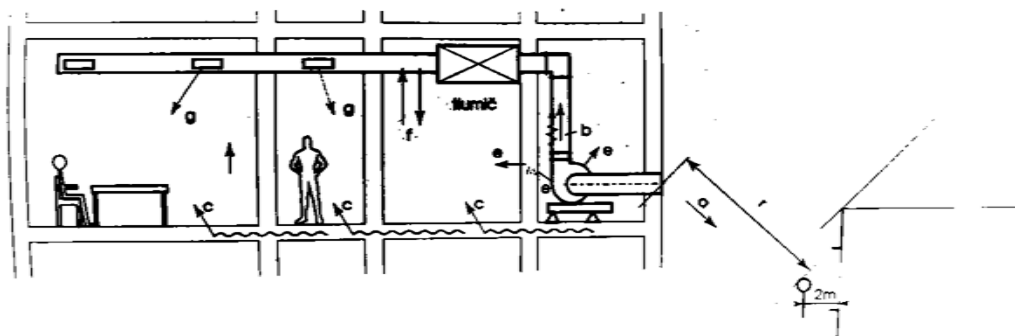
kde:

L_{Woct} hladina akustického výkonu ventilátoru v oktávových pásmach

D_i útlm i - teho elementu v oktávovom pásme

Hluk sa môže šíriť aj akustickým signálom vo forme vibrácií materiálom potrubia. Tomu je možné zabrániť pripojením ventilátora k potrubiu plátenými alebo pryžovými vložkami.(14)

Hluk sa šíri aj vplyvom priezvučnosti stien potrubia, kedy preniká hluk z potrubia do priestorov, v ktorých je vedené. Môže nastať prípad, kedy to bude naopak, hluk z hlučných miestností prenikne do potrubia. To sa dá eliminovať vhodnou inštaláciou tlmičov hluku nielen do strojovni, ale aj tesne pred vetraný chránený priestor. V niektorých prípadoch je potrebné vkladať ďalšie tlmiče medzi dva vetraní priestory, aby nedochádzalo k presluchom.(14)



obr. 14 Schéma šírenia hluku od vzduchotechnického zariadenia (prevzaté z(14))

1.6.3 Útlm hluku v potrubnej sieti

Pri výpočtoch šírenia hluku od ventilátoru potrubím smerom k chránenému priestoru je potrebné definovať prirodzené útlmy hluku v jednotlivých častiach potrubných rozvodov v závislosti na kmitočte.

Útlm v priamom potrubí $D_1(\text{dB/m})$

Útlm hluku v priamom potrubí nie je zvyčajne až tak významnou položkou, keď zohľadníme celkový prirodzený útlm, pretože obsahuje iba desatinu dB/m. Pre vzduchovodu prierezu $a \cdot b$ môžeme útlm definovať podľa vzorca: (14)

$$D_1 = 0,45 - (0,235 \log \sqrt{a \cdot b} + 0,374) \log \frac{f_m}{31,5}$$

kde:

f_m stredný kmitočet v oktávovom pásme [Hz]

Útlm hluku v kolenách $D_2(\text{dB})$

Tieto časti potrubia pôsobia vo vzduchovodoch ako nespojitosť prejavujúca sa zmenou akustickej impedancie. To zapríčini odraz akustickej energie naspäť k zdroju

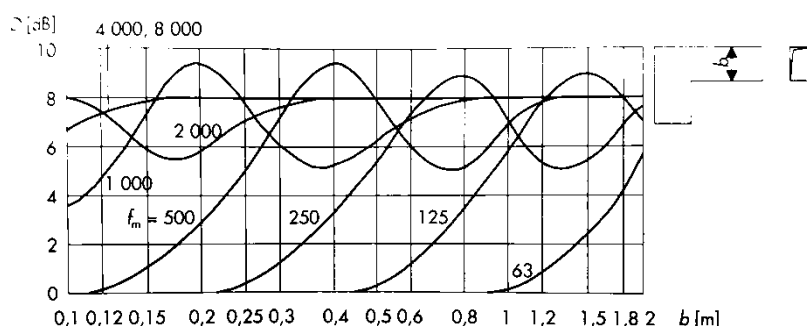
hluku. Typickým příkladem je pravouhlé koleno bez vodiacích plechov, ktoré je ekvivalentné pravouhlému odbočeniu z hlavnej potrubnej trasy.(14) Možno ho definovať podľa vzorca: (14)

$$D_2 = 8,7 e^{-7(\log \frac{f_m d}{250})} + 8,5(1 - e^{-2 \log \frac{f_m d}{400}})$$

kde:

d šířka ohybu

Je potrebné zahrnúť do výpočtu podmienku, že druhý člen vzorca je kladný alebo rovný nule.



obr. 15 Útlm hluku v pravouhlom kolene bez obloženia o šírke b v závislosti na kmitočte f_m
(prevzaté z (3))

Zníženie hluku v rozbočkách D_4 (dB)

„V tomto prípade nedochádza k útlmu hluku odrazom, ale približne delením akustickej energie v pomere prierezu vetví.“(14) Útlm hluku ohybom je zvyčajne sprievodným javom a je potrebné ho vypočítať zvlášť a pripočítať k útlmu v odbočke.(14) Útlm hluku v odbočkách určíme zo vzťahu: (14)

$$D_4 = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{S_k}$$

kde:

S_i prierez odbočiek, do ktorých sa šíri hluk

S_k prierez odbočky, do ktorej sa šírenie hluku určuje

Útlm hluku pri rozšírení vzduchovodu D_5 (dB)

Tam, kde dochádza k rozšíreniu alebo k zúženiu prierezu potrubnej siete sa časť akustickej energie odráža späť k zdroju hluku. Najčastejšie sa používa kužeľovú zúženie, kde pomer zúženie nebýva väčší ako 1:4. Pre tento pomer je v celom

kmitočtovom pásme útlm hluku menší ako 2 dB, preto s ním neuvažujeme ako s významnou položkou.

1.6.4 Normové požiadavky

Akustika je sama o sebe veľmi rozsiahly vedný odbor. Pre požiadavky na vzduchotechnické zariadenia je možné využiť hneď niekoľko noriem a predpisov:

Nařízení vlády č. 241/2018 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Toto nariadenie zapracováva príslušné predpisy Európskej únie a upravuje hygienické limity hluku a vibrácií na pracoviskách, spôsob ich zisťovanie a hodnotenia a minimálni rozsah opatrení k ochrane zdravia zamestnanca. Taktiež upravuje hygienické limity hluku pre chránený vonkajší priestor, chránené vonkajšie priestory stavieb a chránené vnútorné priestory stavieb, hygienické limity vibrácií pre chránené vnútorné priestory stavieb a nakoniec spôsoby merania a hodnotenia hluku a vibrácií pre dennú a nočnú dobu.

ČSN 12 0017 – Metody měření a hodnocení hluku vzduchotechnických zařízení. Všeobecná ustanovení

Táto norma stanovuje metódy merania hluku a hlukové charakteristiky vzduchotechnických zariadení. Uvedené metódy merania a hodnotenia stanovujú hluk vzduchotechnických zariadení a ich samostatne použiteľných častí, ktorých zdrojom je ventilátor, elektromotor alebo iné pomocné strojné súčasti. Stanovuje tiež prúdenie vzduchu v zariadení alebo chvenie častí zariadenia. Metódami podľa tejto normy sa určujú nasledujúce veličiny: (15)

- hladina akustického výkonu,
- hladina akustického výkonu v oktávových pásmach,
- hladina zvuku A,
- hladiny akustického tlaku v oktávových pásmach,
- index smerovosti C v dB v oktávových pásmach,
- statický alebo vložný útlm.

ČSN EN ISO 3746 – Akustika. Určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku. Provozní metoda měření ve volném poli nad odrazivou rovinou

Táto norma stanovuje metódy určovania hladiny akustického výkonu a hladiny akustickej energie zdroja hluku z hladín akustického tlaku meraných na ploche obklopujúcej zdroj hluku (stroje a zariadenia) v skúšobnom prostredí, pre ktoré sú dané požiadavky. Z týchto meraní sa vypočíta hladina akustického výkonu A vyžarovaná zdrojom hluku.(16)

Metódy, ktoré táto norma stanovuje sú použiteľné pre všetky typy hluku (stacionárny, nestacionárny, premenný, izolovaný pulz (burst) akustickej energie atď.) Rovnako je použiteľná pre všetky typy a veľkosti zdrojov hluku za predpokladu, že môžu byť splnené podmienky merania.(16)

ČSN EN ISO 3747 – Akustika. Určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku. Technické/provozní metody pro použití in situ v dozvukovém prostředí

Táto norma stanovuje metódu určovania hladiny akustického výkonu alebo hladiny akustickej energie zdrojov hluku zrovnaním zmeraných hladín akustického tlaku vyžarovaných zdrojom hluku, umiestneným in situ v dozvukovom prostredí, s hladinami kalibrovaného referenčného zdroja zvuku. Z týchto meraní sa vypočíta hladina akustického výkonu vyžarovaná zdrojom hluku vo frekvenčných pásmach o šírke jednej októvy. Hladina akustického výkonu A alebo hladina akustickej energie A sa potom vypočíta z hladín v októvových pásmach.(17)

Metóda, ktorú stanovuje táto norma je taktiež vhodná pre všetky typy hluku. Čo sa týka zdrojov hluku, je obzvlášť vhodná pre zdroje vyžarujúce širokopásmový hluk. Je však vhodná aj pre zdroje vyžarujúce úzkopásmový hluk alebo diskkrétne tóny, aj keď v tomto prípade je možné, že opakovateľnosť merania je potom obmedzená.(17)

Skúšobným zdrojom zvuku môže byť zariadenie, stroj alebo podzostava, spravidla tie, ktoré nie sú premiestniteľné.(17)

ČSN EN ISO 7235 – Akustika – Laboratorní měřicí postupy pro tlumiče hluku v potrubí a vzduchotechnické koncové jednotky – Vložný útlum, vlastní hluk a celková tlaková ztráta

Táto norma určuje postupy pre určovanie vložného útlmu tlmičov v potrubí s prúdením vzduchu a bez prúdenia vzduchu vo frekvenčných pásmach. Taktiež pre hladiny akustického výkonu vlastného hluku (hluku prúdenia) vznikajúceho v potrubnom tlmiči vo frekvenčných pásmach, celkové tlakové straty tlmičov pri prúdení vzduchu a prenosového útlmu vzduchotechnických koncových jednotiek vo frekvenčných pásmach.(18)

Pri substitučnej metóde, ktorú táto norma stanovuje, je určovaná hladina akustického tlaku prechádzajúca zvukové vlny najprv skúšaným objektom, potom unovu náhradným potrubím, ktoré nahradí skúšaný objekt. Hladina akustického tlaku prechodnej zvukovej vlny sa môže merať: (18)

- v dozvukovej miestnosti,
- v meriacom potrubí za tlmičom,
- v okolitom voľnom zvukovom poli.

Akustická účinnosť tlmičov hluku je závislá na rozložení módu zvukového poľa na vstupe tlmiča hluku a na odrazoch na strane výstupnej, ďalej závisí na prenose zvuku bočnými cestami a na rozdieloch hladín medzi signálmi a vlastným hlukom.(18)

1.6.5 Metodika merania

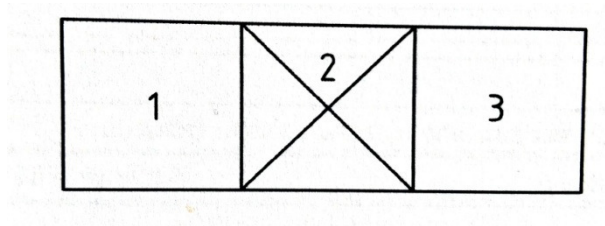
Na zistenie útlmu hluku vo vzduchotechnickom potrubí nie je priama metóda, ktorá by túto problematiku popisovala. Je možné však využiť princípy merania pre tlmiče hluku v potrubí. Konkrétne to popisuje norma ČSN EN ISO 7235.

Táto norma určuje viacero skúšok pre rôzne komponenty vzduchotechnického rozvodu (tlmiče, koncové výustky, atď.). Pre tento prípad, na zistenie útlmu hluku v potrubí, by bola vhodná akustická skúška bez prúdenia vzduchu alebo skúška s prúdením vzduchu.

1.6.5.1 Akustická skúška tlmičov

Používa sa na pre určenie vložného útlmu kompletného tlmiča, ktorý je pripravený na zabudovanie do skúšobného zariadenia. Môže sa vymeniť za náhradné potrubie, ak je vplyv prúdenia vzduchu na výsledok skúšky zanedbateľný.

Potrebné príslušenstvo pre vykonanie skúšky je znázornené na obr. 16



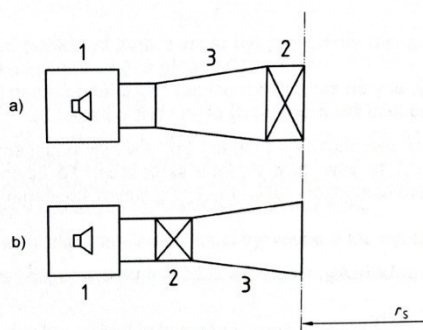
Legenda

- 1 zariadenie zdroja zvuku
- 2 skúšaný objekt
- 3 zariadenie na prijímacej strane

obr. 16 Skúšobná zostava pre akustickú skúšku (prevzaté z (18))

Zariadenie zdroja zvuku

Zariadenie zdroja zvuku vytvára pred skúšaným objektom zvukové pole s prevažujúcim tvarom rovinnej vlny a musí pozostávať z častí popísaných na obr. 17



Legenda

- 1 reproduktorová sústava
- 2 modálny filter
- 3 prechod
- r_s je činiteľ odrazu vzt'ahený k tejto rovine

obr. 17 Príklad použitého usporiadania zdroja zvuku (prevzaté z (18))

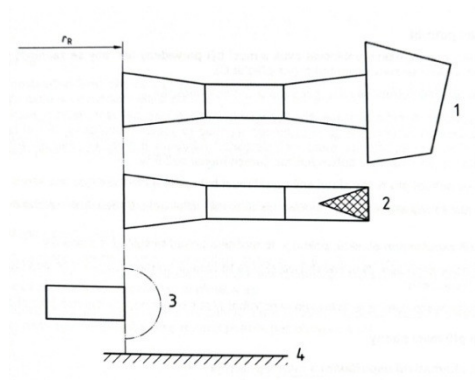
Skúšobné objekty

Skúšobné objekty môžu byť ako rovné, tak aj zahnuté. Pri rovných objektoch musí byť aj prechod rovný a súosi s tlmičom. Všeobecne sa dáva prednosť rovným prechodom, avšak v prípade zahnutých objektov musí byť zariadenie zvuku pred

skúšaným objektom natočené. Ak to nie je možné, pripúšťa sa možnosť použitia dvoch zahnutých prechodov, najviac však s uhlom 45° .

Zariadenie na prijímacej strane

Musí umožňovať meranie akustického tlaku na určenie vložného útlmu skúšaného objektu. Je potrebné zabrániť rušivým prienikom v mieste mikrofónu a bočný prenos zvuku. Alternatívne usporiadania prijímacej strany znázorňuje obr. 18



Legenda

- 1 dozvuková miestnosť
- 2 meracie potrubie s absorpčným klinom
- 3 blízke voľné pole
- 4 podlaha
- r_R je činiteľ odrazu vzťahovaný k tejto rovine

obr. 18 Príklady možného usporiadania prijímacej strany (prevzaté z (18))

Meracie prístroje

Musí byť zostavené minimálne z týchto prístrojov: (18)

- mikrofón,
- tretinooktávový filter,
- zvukomer alebo zariadenie pre meranie akustickej intenzity.

1.6.6 Akustická skúška vzduchotechnických koncových jednotiek

Používa sa pre určovanie prenosového útlmu vzduchotechnickej koncovej jednotky, ktorá môže byť osadená zvnútra alebo zvonku dozvukovej miestnosti.

Zariadenie zdroja zvuku

Obdobne ako pre predchádzajúcu skúšku, avšak neobsahuje modálny filter, ktorý nie je potrebný. Umiestňuje sa mimo dozvukovú miestnosť a pripája sa na vysokotlakú časť skúšaného objektu.

Zariadenie na prijímacej strane

Pozostáva z dozvukovej miestnosti a prenosovej časti, ktorá spája skúšaný objekt s dozvukovou miestnosťou, ak je skúšaný objekt umiestnený mimo dozvukovú miestnosť. Tvar prenosovej časti je možné prispôbiť otvorom v stene dozvukovej miestnosti.

1.6.7 Skúška s prúdením

Používa sa pre určenie celkovej tlakovej straty skúšaného objektu a hladiny akustického výkonu hluku prúdenia (vlastného hluku).

Príslušenstvo zariadenia

Na meranie celkovej tlakovej straty obsahuje skúšobné vybavenie tieto súčasti:
(18)

- ventilátor pre vytvorenie prúdenia vzduchu bez podstatnejšieho vírenia pri rôznych prietokoch,
- zariadenie pre meranie prietoku,
- skúšaný objekt/náhradné potrubie,
- meracie potrubie na oboch stranách skúšaného objektu s prechodmi, ak sú potrebné,
- zariadenie pre meranie rozdielu stredného statického tlaku smerom proti prúdu a v smere prúdu od skúšaného objektu.

Skúšobné vybavenie na meranie hluku prúdenia (vlastného hluku) obsahuje:

- ventilátor s tlmičmi na vytvorenie tichého prúdenia vzduchu pri rôznych prietokoch,
- zariadenie pre meranie prietoku,
- skúšaný objekt/náhradné potrubie,
- aerodynamické prechody na oboch stranách skúšaného objektu,
- prenosovú časť.

Hluk prúdenia, resp. vlastný hluk skúšaného objektu nastáva vždy súčasne s hlukom prúdenia vznikajúcim v pripojených potrubiach, spravidla na prijímacej strane. Pre potlačenie tohto javu je potrebné, aby bola rýchlosť prúdenia v skúšanom objekte vyššia ako v potrubí v dozvukovej miestnosti. Je dôležité si uvedomiť, že hluk prúdenia sa môže zväčšiť skrútením a turbulenciou.

1.7 Tlakové straty

1.7.1 Tlakové straty trením

V priamom potrubí vzniká pri prúde tekutiny odpor, kedy pri jeho prekonávaní klesá tlak. Veľkosť tohto úbytku tlaku je závislý na dĺžke potrubia, priemere, rýchlosti prúdenia distribuovaného vzduchu a súčiniteli trecích strát. Tlakovú stratu trením je možné určiť podľa vzťahu: (1)

$$\Delta p_t = \lambda \frac{l}{d} p_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2} \rho \quad [\text{Pa}]$$

kde:

l	dĺžka potrubia	[m]
d	priemer potrubia	[m]
w	rýchlosť dopravovaného vzduchu	[m/s]
λ	súčiniteľ trecích strát	[-]
p_d	dynamický tlak	[Pa]
ρ	hustota vzduchu	[kg/m ³]

Pri laminárnom prúde je súčiniteľ trecích strát závislý iba na Reynoldsovom čísle, pretože drsnosť vnútorných stien potrubia naň nemá žiadny vplyv. V oblasti turbulentného prúdenie však súčiniteľ trecích strát závisí nielen na Reynoldsovom čísle, ale taktiež na pomernej drsnosti vnútorných stien potrubia ε/d . Súčiniteľ trecích strát je možné určiť podľa vzorca: (1)

$$\lambda = f(Re, \varepsilon/d)$$

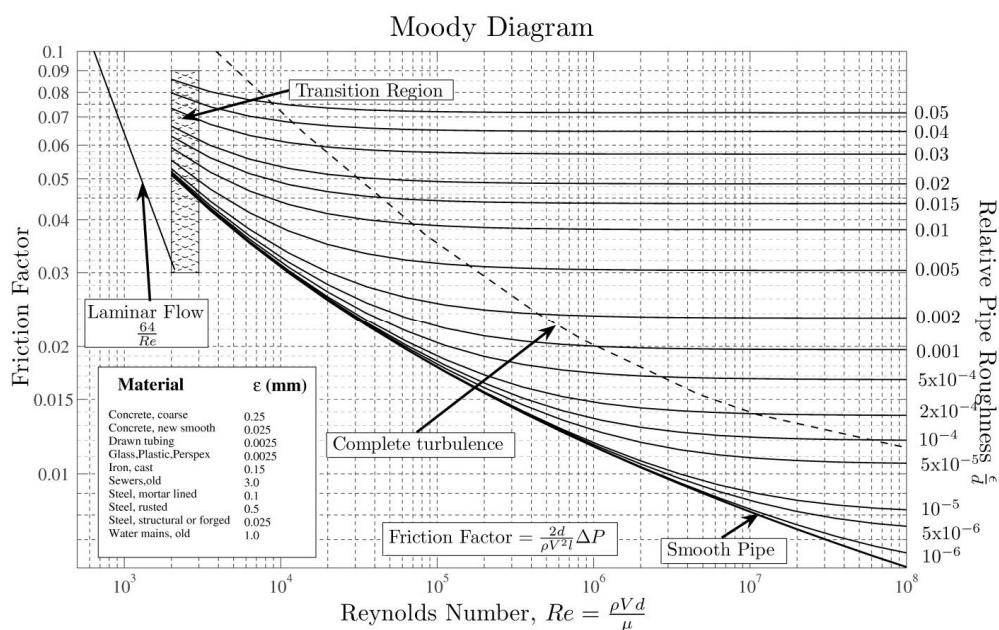
Rozšírený je vzťah podľa Smolíka, ktorý platí pre prúde vzduchu v pozinkovanom potrubí s drsnosťou $\varepsilon = 0,15$: (1)

$$\lambda = \frac{0,0812}{Re^{0,125} d^{0,11}}$$

tab. 5 Ekvivalentné drsnosti stien vzduchovodov (prevzaté z (1))

Prevedenie vzduchovodu	ε (mm)
Pozinkovaný plech	0,15
CLIMAVER*	0,15
Betónový kanál, hladký povrch	0,5
Betónový kanál, hrubý povrch	1 až 3
Potrubié z plastu	0,007
Ohybné hadice	0,6 až 6

*Drsnosť vnútorných stien potrubia CLIMAVER je identická ako pri pozinkovanom plechu (7)

obr. 19 Súčiniteľ trecích strát v závislosti na Re a pomernej drsnosti potrubia ε/d (prevzaté z (19))

1.7.2 Tlakové straty miestnymi odpormi

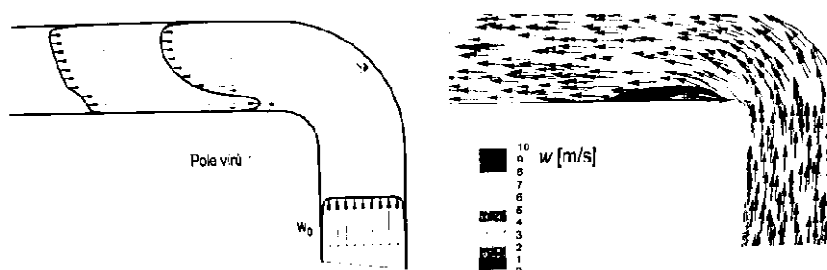
Tlakové straty miestnymi odpormi vznikajú pri prietoky tekutiny tými časťami potrubia, ktoré buď menia smer prúdenia (kolená, oblúky, odbočky a pod.) alebo priamo narušujú prúdenie v priamom úseku potrubia (klapky, regulátory a pod.). Určíme ich podľa vzorca: (1)

$$\Delta p_m = \zeta p_d = \zeta \frac{w^2}{2} \rho$$

kde:

ζ součinitel' miestnej straty [-]

Pri prúdeaní tekutiny cez tvarovku dochádza k narušeniu rýchlostného profilu. Je to spôsobené geometrickým usporiadaním tvarovky. Môžu v nej vznikať vírové polia, ktoré majú podstatný vplyv na rýchlostný profil. Po prechode tvarovkou sa rýchlostný profil postupne vyrovnáva. Táto zmena rýchlostného profilu vytvára miestnu tlakovú stratu.(1)



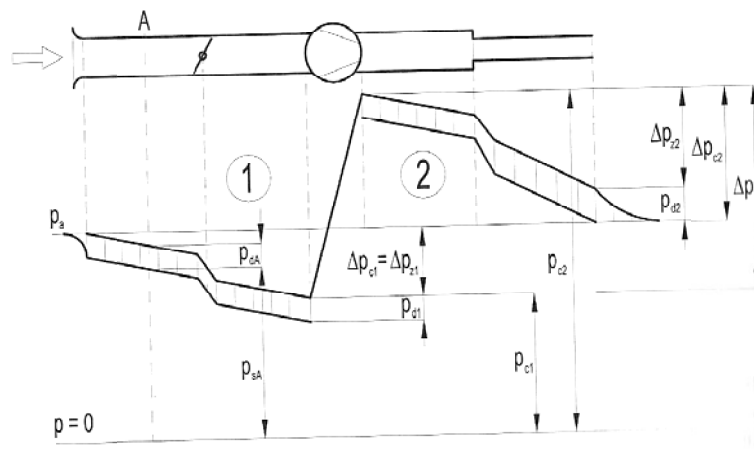
obr. 20 Charakter prúdenia v oblúku (prevzaté z (1))

Súčinitel' miestnych strát je v oblasti turbulentného prúdenia konštantný a nie je závislý na Reynoldsovom čísle. Avšak v laminárnej oblasti prúdenia a s klesajúcim Reynoldsovým číslom tento súčinitel' narastá. Súčinitel' miestnych strát sa väčšinou stanovuje experimentálne.(1)

1.7.3 Tlakové pomery vo vzduchovodoch

Tlakovú stratu vzduchovodu v úseku s konštantnou rýchlosťou vyrovnáva statický tlak. Súčet statického a dynamického tlaku je celkový tlak: (1)

$$p_c = p + p_d = p + \frac{w^2}{2} \rho$$



obr. 21 Priebek tlaku v potrubnej sieti ventilátoru (prevzaté z (1))

Ak je predpoklad, že je hustota vzduchu konštantná, môžeme tlakovú stratu v úseku 1 – 2 vyjadriť ako rozdiel celkových tlakov:

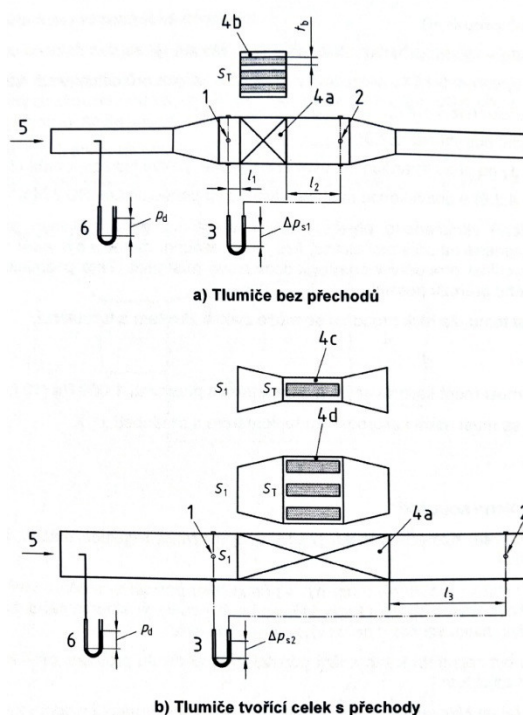
$$\Delta p_{z1,2} = \left(p_1 + \frac{\rho}{2} w_1^2 \right) - \left(p_2 + \frac{\rho}{2} w_2^2 \right) = p_{c1} - p_{c2}$$

1.7.4 Metodika merania

Metódu merania pre zistenie tlakovej straty vzduchovodov popisuje norma ČSN EN ISO 7235 obdobne ako v kapitole 1.5.7.

1.7.4.1 Zariadenie a príslušenstvo

Usporiadanie a zariadenie príslušenstva pre meranie stredného statického tlaku na oboch stranách skúšaného objektu ako aj jeho celkovej tlakovej straty musí vyhovovať obr. 22.



Legenda

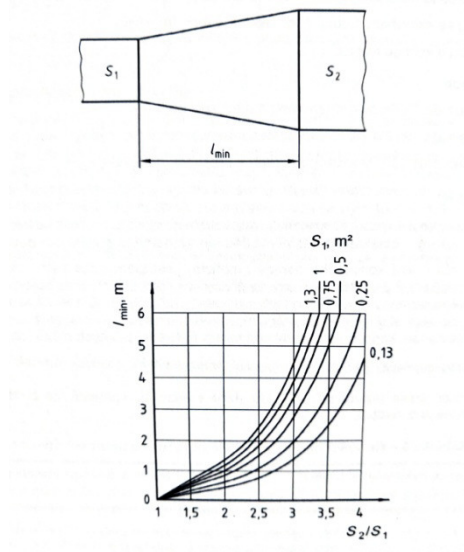
- 1 meranie statického tlaku proti prúdu pred skúšaným objektom
- 2 meranie statického tlaku po prúde za skúšaným objektom
- 3 manometer
- 4a,b,c,d skúšaný objekt
- 5 smer prúdenia
- 6 meranie prietoku

obr. 22 Vzorové usporiadanie skúšok prietoku tlakovej straty (prevzaté z (18))

1.7.4.2 Meracie potrubie a aerodynamické prechody

Meracie potrubie ma byť na oboch koncoch rovné s rovnakými prierezmi. Doporučuje sa, aby boli priečne prierezy meracieho potrubia rovnaké s prierezmi skúšaného objektu. Ak to možné nie je, musia byť prechody vyhotovené aerodynamicky podľa týchto spôsobov:(18)

- kužeľové prechody s najväčším uhlom otvorenia 10° ,
- ľubovoľné prechody s najmenšou dĺžkou l_{\min} podľa obr. 23.



obr. 23 Nejmenší délka přechodů v závislosti na poměru ploch průřezu S_2/S_1 (převzaté z(18))

2 Experimentálna časť

2.1 Návrh experimentu

Táto časť práce je venovaná experimentálnemu stanoveniu technických vlastností vzduchovodov, a to konkrétne vzduchotesnosti, útlmu hluku v potrubí a tlakových strát, podobne ako to bolo popísané v teoretickej časti.

Pri skúške tesnosti vzduchovodov je potrebné zistiť množstvo vzduchu, ktorý unikne z potrubia netesnosťami pri pretlaku, naopak pri podtlaku množstvo vzduchu, ktoré doň vnikne. Tento únik vzduchu je nazývaný ako faktor vzduchotesnosti f [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2$], ktorý je následne porovnaný s maximálnym faktorom, resp. limitom vzduchotesnosti f_{\max} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^2$].

Pri skúške útlmu hluku v potrubí je dôležitá hladina akustického tlaku v dB(L). Pre určenie útlmu je potrebné najprv poznať najprv základné akustické parametre zdroja zvuku, ktoré budú uvažované ako hodnoty referenčné. Následne po pripojení vzoriek bude zistená hladina akustického tlaku na konci skúšaného potrubia. Rozdielom týchto dvoch meraní je získaný útlm hluku.

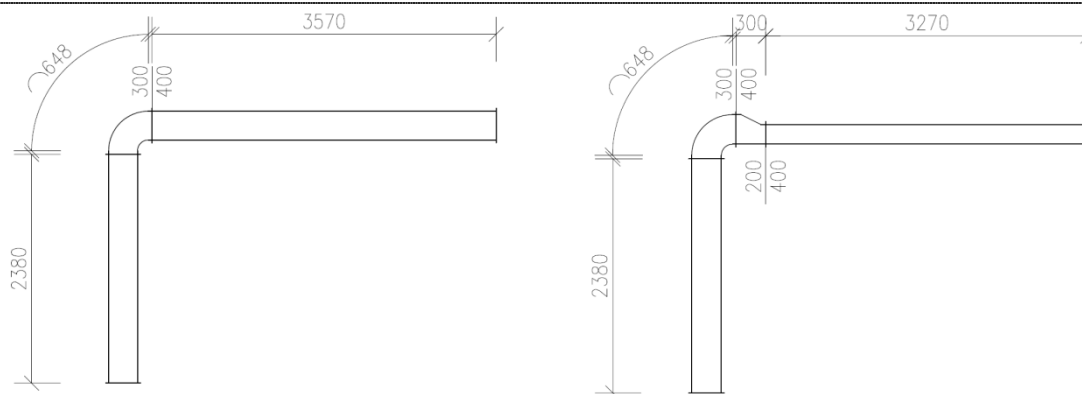
Skúškou tlakových strát potrubia je zisťovaný tlakový úbytok vplyvom trecích síl, ktoré závisia na dĺžke potrubia, pri miestnych stratách sa tento úbytok prejaví v oblúkoch, ohyboch, clonách a pod.

Vyššie popísané vlastnosti boli zisťované na dvoch vzorkách potrubia pre prívod/odvod vzduchu. Jedným variantom bolo potrubie z pozinkovaného plechu, druhým potrubie z dosiek z minerálnej vlny CLIMAVÉR. Obe varianty mali rovnaký počet prvkov, vnútorný prierez a dĺžku. Ich rozmery sú znázornené na obr. 24

Stanovenie vzduchotesnosti, útlmu hluku v potrubí ako aj tlakové straty prebehlo v Univerzitnom centre energeticky efektívnych budov ČVUT v Prahe.

2.2 Skúšobné vzorky

Skúšobné vzduchovody pozostávajú z priamych kusov o rozmeroch 300x400/2380 mm, 300x400/3270 a 200x400/3270 mm, pravouhlého kolena 300x400 mm a redukcie z 300x400 mm na 200/400 mm o dĺžke 300 mm. Potrubie z pozinkovaného plechu je hr. 0,6 mm, potrubie systému CLIMAVÉR Neto o hr. 25 mm.



obr. 24 Schematické znázornenie skúšobných vzoriek s ich rozmermi

(vzorka 1 vpravo, vzorka 2 vľavo)

Príprava vzoriek systému CLIMAVÉR spočívala v narezaní dosiek z minerálnej vlny pomocou špeciálnych nástrojov a následného tvarovania podľa požadovaného úseku, či už priameho alebo tvarovky. Spoje sú vyhotovené pomocou spinkovačka hliníkovej pásky, pri tvarovkách je potrebné použiť lepidlo. Takto predpripravené vzorky boli prevezené do miesta vykonania skúšok, teda do UCEEB - u.

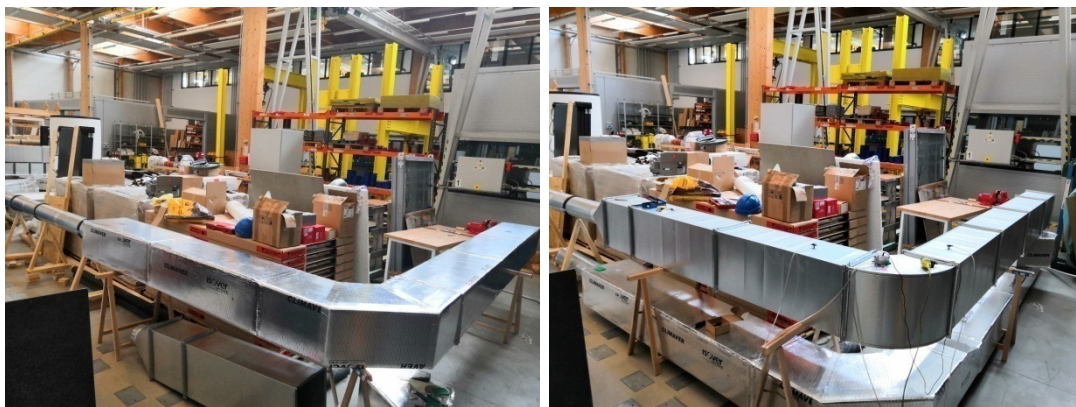


obr. 25 Príprava skúšobných vzoriek systému CLIMAVÉR

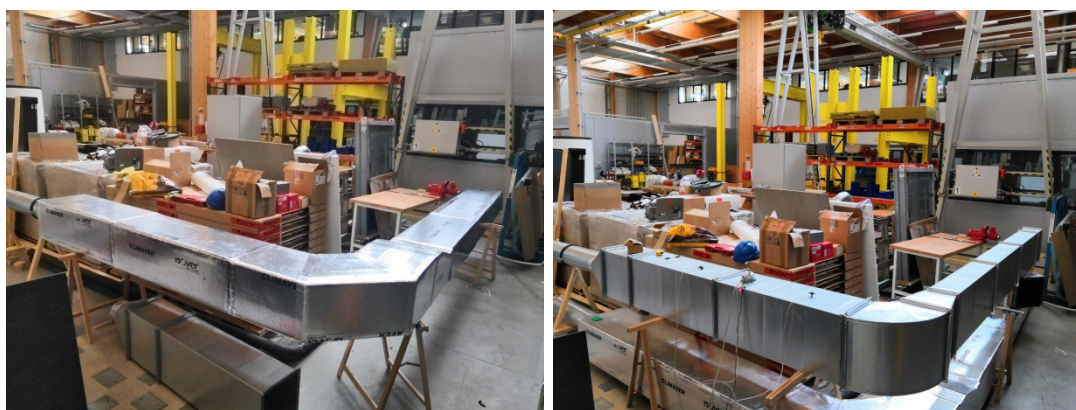


obr. 26 Príprava skúšobných vzoriek pozinkovaného plechu

Skúšobné vzorky vzduchovodov z pozinkovaného plechu boli pripravené vo výrobe v priamych kusoch dĺžky 1 m, dorezoch a tvarových kusoch. Takto vyrobené vzorky sme tiež previezli do UCEEB – u. Spájanie jednotlivých častí bolo pomocou skrutiek a matíc v spoji na príruby.



obr. 27 Vľavo vzorka CLIMAVER 1, vpravo vzorka Plech 1



obr. 28 Vľavo vzorka CLIMAVER 2, vpravo vzorka Plech 2

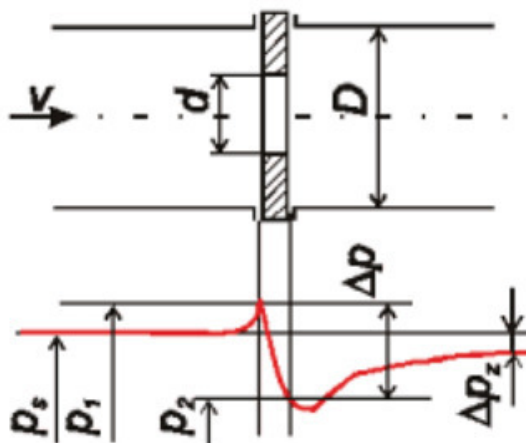
2.3 Popis meracej trate

Pre všetky skúšky bolo potrebné skonštruovať meraciu trať, ktorá umožňovala zistenie všetkých žiadaných parametrov. K meraniu boli použité dva rôzne druhy potrubia z hľadiska materiálového, jedno z pozinkovaného plechu, druhé z dosiek z minerálnej vlny CLIMAVER. Na skúšku tlakových boli použité z každého druhu potrubia dve vzorky, tým pádom boli získané hodnoty pre celkovo 4 skúšané potrubia. Vzduchotesnosť a útlm hluku bola meraná na dvoch vzorkách.

Pre získanie parametrov na určenie tesnosti vzduchovodov je za potreby pripojiť ventilátor, ktorý vytvorí požadovaný pretlak v potrubí, ktoré je na konci dôkladne utesnené záslepkou. Ventilátor je poháňaný elektromotorom, jeho otáčky a teda aj prietok vzduchu je regulovaný frekvenčným meničom. V tomto prípade boli kvôli

žaducim vyšším rýchlostiam a tlaku použité dva ventilátory zapojené paralelne. Výtlačné potrubie z ventilátorov je kruhové, vnútorného priemeru 100 mm. Ventilátory boli zapojené pomocou odbočky, ktorá vyusťuje do kruhového potrubia priemeru ϕ 200 mm. V tomto potrubí je umiestnený otvor pre turbínkový anemometer, ktorý slúžil na zistenie rýchlosti a teda aj veľkosti prietoku vzduchu pre skúšku na zistenie tlakových strát. Pri skúške na tesnosť vzduchovodov nebol použitý, keďže by nebola dosiahnutá správnosť výsledkov pre nízke rýchlosti prúdenie vzduchu. Odborné miesta pre meranie diferenčného tlaku pre skúšku tlakových strát sa nachádzali na viacerých vhodne zvolených miestach. Pri skúške tlakových strát bol koniec potrubia voľný, resp. ostal nezaslepený. Schémy jednotlivých meracích zostáv sú zobrazené na obr. 24,

Pri skúške vzduchotesnosti bola za ventilátory umiestnená clona ako prierezové meradlo, ktoré slúžilo na určenie veľkosti prietoku pri skúške vzduchotesnosti. Clona a jej usmerňovacie potrubie má vnútorný priemer 50 mm. Tento typ meradla bol zvolený preto, aby sa docielili čo najpresnejšie hodnoty veľkosti prietoku vzduchu, lebo pri skúške tesnosti je kvôli zaslepeným koncom vzduchovodov v potrubí prúdenie s nízkymi rýchlosťami. Clona disponuje dvoma odbornými miestami tlaku, jedno je tesne pred zúženým prierezom, druhé tesne za ním. Odborné miesta sú napojené na prístroj na meranie diferenčného tlaku. Obr. 29 znázorňuje priebeh tlakovej straty na centrickej clone.

**Legenda:**

- v rýchlosť prúdenia
- d priemer otvoru škrtiaceho orgánu
- D priemer potrubia

p_s	vstupný statický tlak
p_1	snímaný tlak pred škrtiacim orgánom
p_2	snímaný tlak za škrtiacim orgánom
Δp	diferenčný tlak ($p_1 - p_2$)
Δp_z	trvalá tlaková strata

obr. 29 Škrtiaci člen centrickej clony

Za clonou je nainštalovaný prechodový kus z priemeru 100 mm na priemer 200 mm. Nasleduje prechodový kus z kruhového potrubia ϕ 200 mm na štvorhranné o priereze 300x400 mm pri potrubí z pozinkovaného plechu, potrubie systému CLIMAVER je napojené priamo z kruhového prierezu na štvorhranný, čím vzniklo náhle rozšírenie. Na tento prechod už naväzuje skúšobné potrubie, ktoré znázorňuje obr. 24. Pri skúške tesnosti bol koniec skúšaného vzduchovodu zaslepený zásepkou prierezu 200x400 mm. Schémy jednotlivých meracích zostáv sú zobrazené na obr. 24.

2.4 Použité prístroje

Všetky potřebné přístroje a pomůcky boli poskytnuté Univerzitným centrom energeticky efektívnych budov v Prahe.

Meracia technika:

- Snímač tlakovej diferencie 1

Typ:	984Q.543714b
Merací rozsah:	0 – 500 Pa
Preťaženie:	20 Kpa
Presnosť:	$\pm 1 \%$
Vstupné napätie:	22 – 30 V AC/DC
Výstupné napätie:	0 – 10 V

**obr. 30 Snímač tlakovej diferencie 1**

- Snímač tlakovej diferencie 2

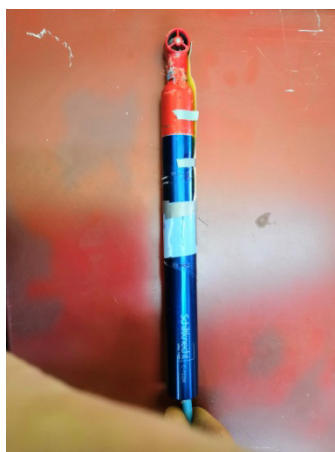
Typ:	984A.553714b
Merací rozsah:	0 – 2,5 kPa
Preťaženie:	40 Kpa
Presnosť:	$\pm 1 \%$
Vstupné napätie:	22 – 30 V AC/DC
Výstupné napätie:	0 – 10 V



obr. 31 Snímač tlakovej diferencie 2

- Turbínkový anemometer

Typ:	C-72334
Merací rozsah:	0,5 – 20 m/s
Rozmery hlavy:	$\phi 11 \times 15 \text{ mm}$
Výrobca:	Schiltknecht



obr. 32 Turbínkový anemometer Schiltknecht

- Dataloger

Počet vstupov:	2
Počet kanálov:	8

A/D převodník:	16 bit
Frekvencia merania:	2,5 a 10 M/s
Presnosť:	$\pm 0,03\%$ z nameranej hodnoty
Napájanie:	3xbatérie/akku AA, sieťový adaptér



obr. 33 Dataloger Alnemo 2590

- Clona

Priemer:	DN50 PN16
Merací rozsah:	$11 - 30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Konštanta:	19,970



obr. 34 Clonková trať

- Plynomer

Typ:	BK – G10M
Merací rozsah:	$0,1 - 16 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Maximálny tlak:	0,5 bar



obr. 35 Plynomer

- Zvukový analyzátor

Výrobca:	Norsonic
Typ:	Nor140
Frekvenčný rozsah:	8,0 Hz – 16,0 kHz
Merací rozsah:	-10 dB – 137 dB
Napätie:	24 V
Prúd:	4 mA



obr. 36 Zvukový analyzátor

Komponenty v zostave:

- Ventilátor 1

Výrobca:	TCF Vzduchotechnika
Typ:	TBNS 19N4, CI.HP, Arr.4, CW90
Množstvo vzduchu:	0,1 – 0,5 m ³ .s ⁻¹

Tlakový rozsah:	4500 – 3500 Pa
Výkon motora:	5,5 kW
Max. otáčky:	2950 rpm
Napätie:	400 V



obr. 37 Ventilátor 1

- Ventilátor 2

Výrobca:	Ján Hřebec
Typ:	RH35Cpro
Množstvo vzduchu:	3000 m ³
Externá tlaková strata:	300 kPa
Napätie:	230/400 V
Výkon motora:	1,1 kW
Max. otáčky:	1400 rpm
Prúd:	4,25/2,45 A



obr. 38 Ventilátor 2

- Usmerňovacie potrubie clony $\phi 50$ mm,

-
- ALU flexo potrubie $\phi 100$ mm.
 - rozbočka kruhového prierezu $\phi 200$ mm, priemer odbočky $\phi 100$ mm,
 - osová redukcia kruhového prierezu $\phi 100/ \phi 200$ mm,
 - kovové potrubie kruhového prierezu $\phi 200$ mm,
 - prechodový kus kruh $\phi 200$ mm/štvorhran 300×400 mm z pozinkovaného plechu dĺžky 500 mm,
 - potrubie z pozinkovaného plechu 300×400 mm, 200×400 mm,
 - tvarový kus – koleno 90° z pozinkovaného plechu 300×400 mm,
 - prechodový kus z pozinkovaného plechu $300 \times 400/200 \times 400$ mm,
 - záslepka z pozinkovaného plechu 200×400 mm,
 - potrubie zo systému CLIMAVÉR 300×400 mm, 200×400 mm,
 - tvarový kus – koleno 90° zo systému CLIMAVÉR 300×400 mm,
 - prechodový kus zo systému CLIMAVÉR $300 \times 400/200 \times 400$ mm,
 - záslepka zo systému CLIMAVÉR 200×400 mm,

2.5 Postup pri skúške tlakových strát

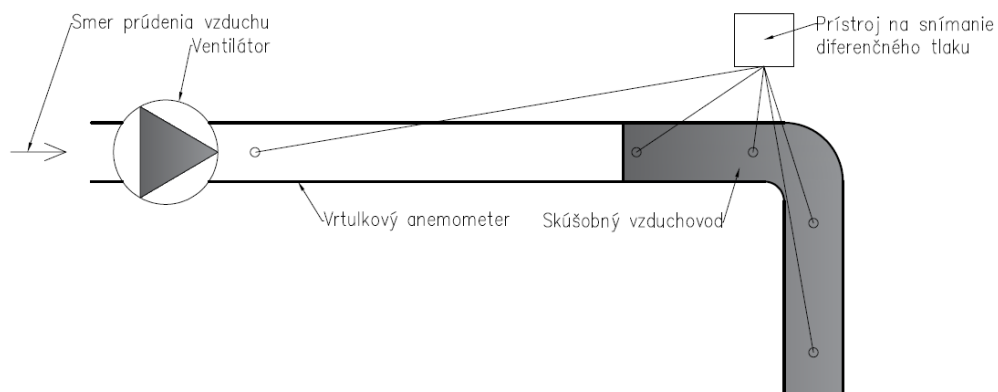
2.5.1 Zhotovenie meracej trate

- Umiestnenie ventilátorov,
- osadenie redukcie pre kovové potrubie kruhového prierezu,
- pripevnenie kovového potrubia kruhového prierezu na redukciu,
- pripojenie skúšaného potrubia,
- napojenie výtlačnej časti ventilátora na meracie potrubie pomocou ALU flexo potrubia,
- zatesnenie všetkých spojov páskou.

2.5.2 Pripojenie zariadenia na meranie

- Za ventilátormi vytvorenie otvoru pre turbínkový anemometer,
- vytvorenie odberných miest pre meranie diferenčného tlaku v rôznych častiach potrubia ako znázorňuje schéma,
- upevnenie hadičky pre snímanie diferenčného tlaku do otvoru pomocou Prandtlovej sondy,
- pripojenie hadičiek z odberných miest do snímača diferenčného tlaku.

Schému meracej trate je znázornená na obr. 39.

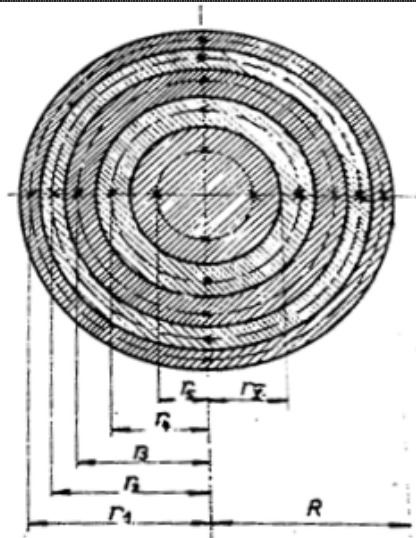


obr. 39 Schéma meracej trate pre skúšku tlakových strát

2.5.3 Meranie

- Vynulovanie snímača tlakovej diferencie a turbínkového anemometra,
- zapnutie ventilátorov a frekvenčného meniča pre zmenu otáčok,
- pri každej zmene otáčok zapisovanie rýchlosti prúdenia vzduchu a tlakovej diferencie pre každé odberné miesto,
- pre všetky vzorky potrubí vykonané meranie pri 6 rôznych rýchlostiach prúdenia s odpovedajúcimi tlakmi v odberných miestach.

Ako prvý je meraný variant systému CLIMAVÉR. Je potrebné pripojiť odberné miesta diferenčného tlaku k snímaču. Nasleduje zapnutie ventilátorov, ktoré sú pomocou frekvenčného meniča nastavené na zvolenú frekvenciu. Do otvoru pre meranie rýchlosti je vložený turbínkový anemometer, ktorým je zmeraný rýchlostný profil v potrubí. Pre zistenie strednej rýchlosti je potrebné merať rýchlosť vo viacerých bodoch v priereze, ako znázorňuje obr. 40.



obr. 40 Umiestnenie turbínkového anemometra v potrubí

Polomer r_i kružníc, kde je potrebné umiestniť anemometer, stanovuje vzťah:

$$r_i = R \cdot \sqrt{\frac{2n - (2i - 1)}{2n}}$$

kde:

n počet medzikruží
 i poradové číslo kružníc

$R = 0,100$ m, 5 medzikruží

$r_1 = 0,949.R$, $r_2 = 0,837.R$, $r_3 = 0,707.R$, $r_4 = 0,548.R$, $r_5 = 0,316.R$

Rozmery od stredu potrubia:

$r_1 = 9,49$ cm, $r_2 = 8,37$ cm, $r_3 = 7,07$ cm, $r_4 = 5,48$ cm, $r_5 = 3,16$ cm

Rozmery od okraja potrubia:

$r_{1-R} = 0,51$ cm, $r_{2-R} = 1,63$ cm, $r_{3-R} = 2,93$ cm, $r_{4-R} = 4,52$ cm, $r_{5-R} = 6,84$ cm

K určení střední rychlosti postačuje měření v jediném bode, ktorý leží vo vzdialenosti približne $0,75.R$. Tento bod leží vo vzdialenosti 7,5 cm od stredu potrubí, od okraja tým pádom 2,5 cm.

Stredná rýchlosť prúdenia vzduchu je vyhodnotená ako aritmetický priemer jednotlivých meraní rýchlostí v takto stanovených meracích bodov. Následne je určený objemový prietok vzduchu potrubím.

Pomocou zariadenia na snímanie diferenčného tlaku sú zistené hodnoty tlakovej diferencie v jednotlivých častiach potrubia, a to v priamych kusoch a tvarovkách. Meranie začína na maximálnych otáčkach ventilátorov, kde je odčítaný prietok a hodnoty tlakovej diferencie. Meranie pokračuje postupným znižovaním frekvencie na frekvenčnom meniči, čím sa docieli zníženie otáčok a tým pádom aj prietoku vzduchu. Pri každej zmene otáčok sa zapisujú zistené hodnoty prietoku a tlakovej diferencie do tabuľky.

Vypočítané hodnoty sú stanovené podľa nasledujúcich vzorcov:

Stredná rýchlosť v_s je určená ako aritmetický priemer jednotlivých rýchlostí v priereze potrubia:

$$v_s = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

kde:

n množstvo odmeraných rýchlostí

Objemový prietok je stanovený podľa rovnice kontinuity:

$$Q_v = v_s \cdot S \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$$

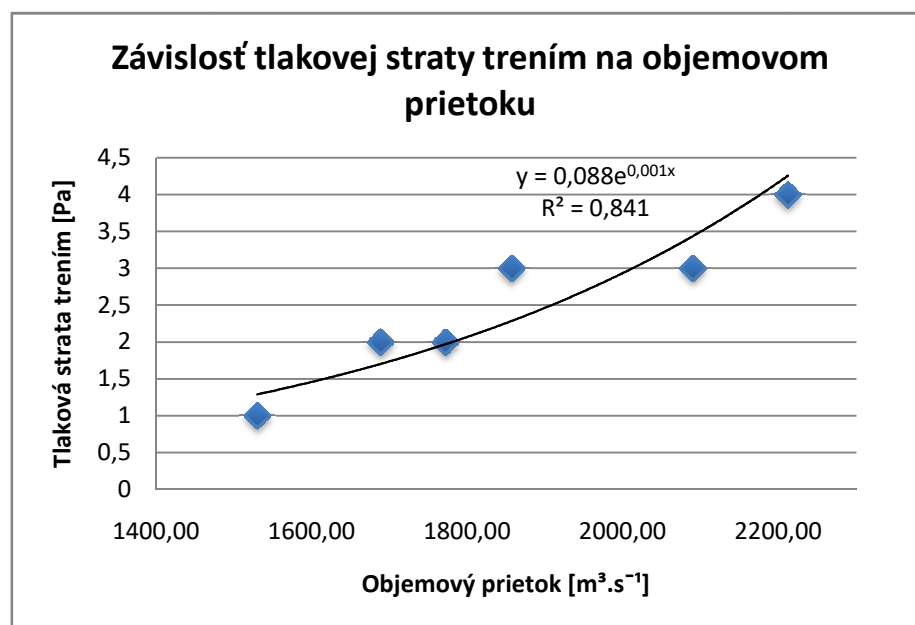
2.5.4 Výsledky merania

Meranie prebehlo celkom na štyroch vzorkách. V každej vzorke bola odmeraná rýchlosť prúdenia vzduchu za ventilátormi v meracom potrubí ϕ 200 mm, pomocou turbínkového anemometra s vyhodnocovacím zariadením. Tlaková diferencia bola odmeraná pri dvoch vzorkách v kolene a priamom úseku dlhom 3 m. Pri ďalších dvoch v tvarovom úseku pozostávajúceho z kolena a redukcie, a v priamom úseku dĺžky 3 m. Získané výsledky sme pre prehľad spracovali do tabuliek. Pri priamom úseku, dlhom 2 m, ktorý nasleduje hneď za meracím potrubím kruhového prierezu nebolo možné zistiť hodnotu tlakovej straty. Bolo tak z dôvodu neustáleného prúdenia vzduchu v potrubí v dôsledku náhleho rozšírenia prierezu. Preto tieto hodnoty niesú uvádzané vo výsledkoch. Jednotlivé hodnoty tlakových strát boli odmerané s presnosťou na 1 Pa. Presnejšie výsledky by bolo možné dosiahnuť so snímačom tlakovej diferencie, ktorý má väčšiu presnosť. Takýto prístroj nebol k dispozícii.

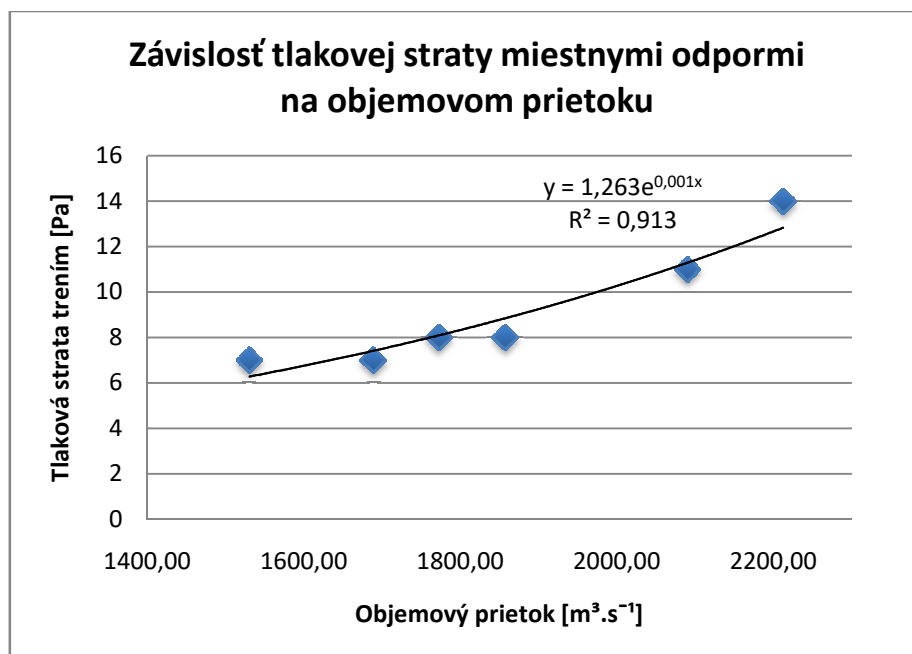
Výsledky jednotlivých vzoriek vzduchovodov sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách. Spracované hodnoty zobrazené v grafoch reprezentujú závislosť tlakovej straty na objemovom prietoku.

tab. 6 Namerané hodnoty pre vzorku vzduchovodu CLIMAVÉR 1

Vzorka CLIMAVÉR 1							
Meranie [-]	Ventilátor frekvencia [Hz]	Ventilátor 2 frekvencia [Hz]	Rýchlosť prúdenia v meracom potrubí [m.s ⁻¹]	Objemový prietok [m ³ .h ⁻¹]	Tlaková strata miestnymi odpormi [Pa]	Tlaková strata trením (3 m) [Pa]	Tlaková strata trením [Pa/m]
1	43	79,4	19,56	2212,18	14	4	1,33
2	40	76,1	18,48	2090,04	11	3	1,00
3	30	76,1	16,42	1857,06	8	3	1,00
4	35	62,2	15,67	1772,24	8	2	0,67
5	30	65,1	14,93	1688,54	7	2	0,67
6	30	54,8	13,53	1530,21	7	1	0,33



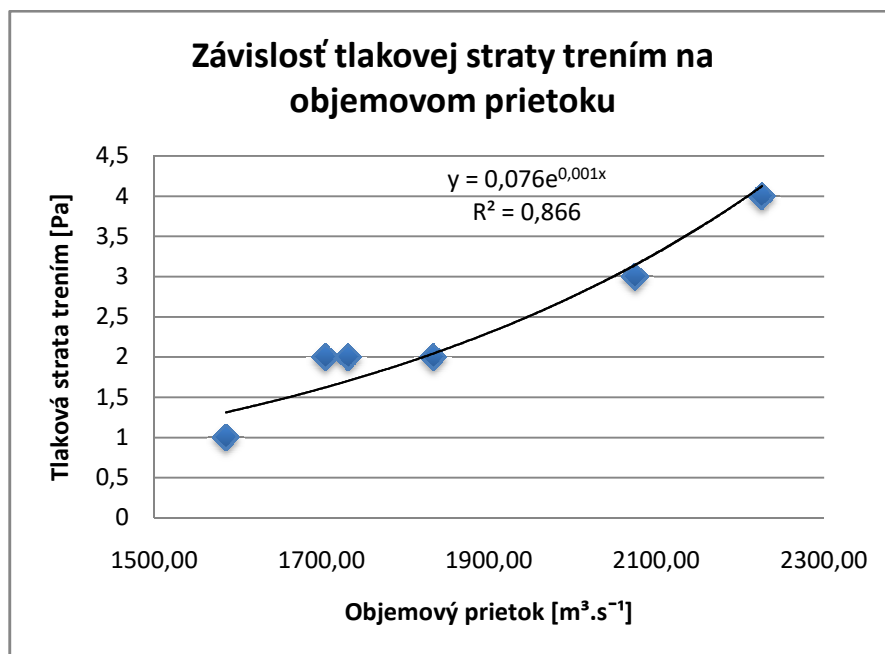
obr. 41 Graf závislosti tlakovej straty trením
na objemovom prietoku na vzorke CLIMAVÉR 1



obr. 42 Graf závislosti tlakovej straty miestnymi odpormi
na objemovom prietoku na vzorke CLIMAVÉR 1

tab. 7 Namerané hodnoty pre vzorku vzduchovodu CLIMAVÉR 2

Vzorka CLIMAVÉR 2							
Meraní [-]	Ventilátor frekvenci [Hz]	Ventilátor 2 frekvencia [Hz]	Rýchlosť prúdenia v meracom potrubí [m.s⁻¹]	Objemový prietok [m³.h⁻¹]	Tlaková strata miestnymi odpormi [Pa]	Tlaková strata trením (3 m) [Pa]	Tlaková strata trením [Pa/m]
1	43	79,2	19,68	2225,76	17	4	1,33
2	40	76,1	18,34	2074,21	15	3	1,00
3	30	76,2	16,21	1833,31	11	2	0,67
4	35	62,2	15,31	1731,52	11	2	0,67
5	30	65,1	15,07	1704,38	9	2	0,67
6	30	54,8	14,02	1585,62	8	1	0,33



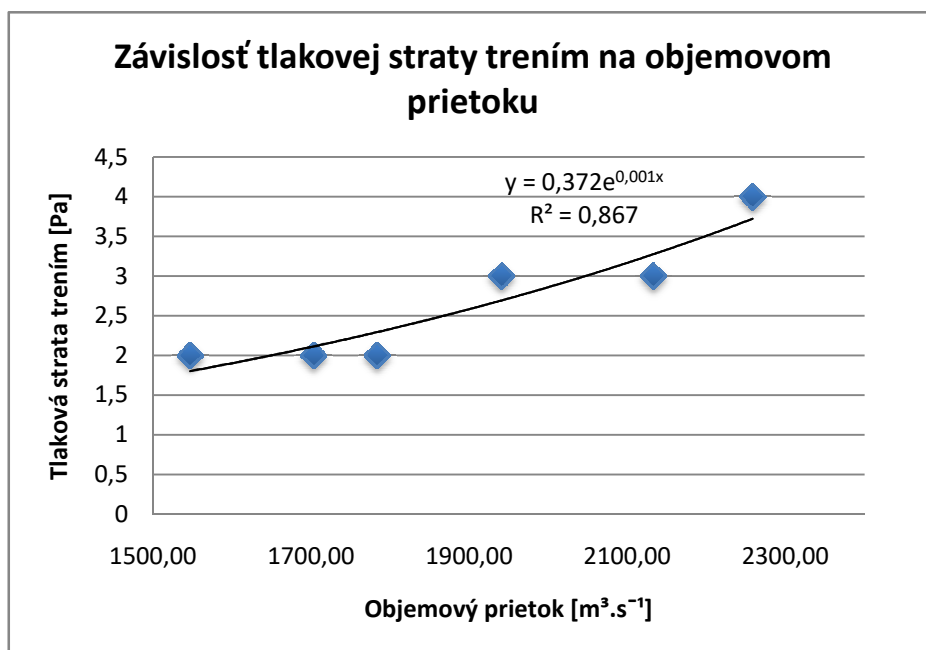
obr. 43 Graf závislosti tlakovej straty trením
na objemovom prietoku na vzorke CLIMAVÉR 2



obr. 44 Graf závislosti tlakovej straty miestnymi odpormi
na objemovom prietoku na vzorke CLIMAVÉR 2

tab. 8 Namerané hodnoty pre vzorku pozinkovaný plech 1

Vzorka pozinkovaný plech 1							
Meranie [-]	Ventilátor frekvencia [Hz]	Ventilátor ω frekvencia [Hz]	Rýchlosť prúdenia v meracom potrubí [m.s ⁻¹]	Objemový prietok [m ³ .h ⁻¹]	Tlaková strata miestnym odpormi [Pa]	Tlaková strata trením (3 m) [Pa]	Tlaková strata trením [Pa/m]
1	43	80,2	19,97	2258,55	13	4	1,33
2	40	76,2	18,86	2133,02	12	3	1,00
3	30	76,2	16,27	1940,75	10	3	1,00
4	35	62,1	15,77	1783,54	8	2	0,67
5	30	64,8	15,06	1703,25	7	2	0,67
6	30	54,8	13,68	1547,17	6	2	0,67



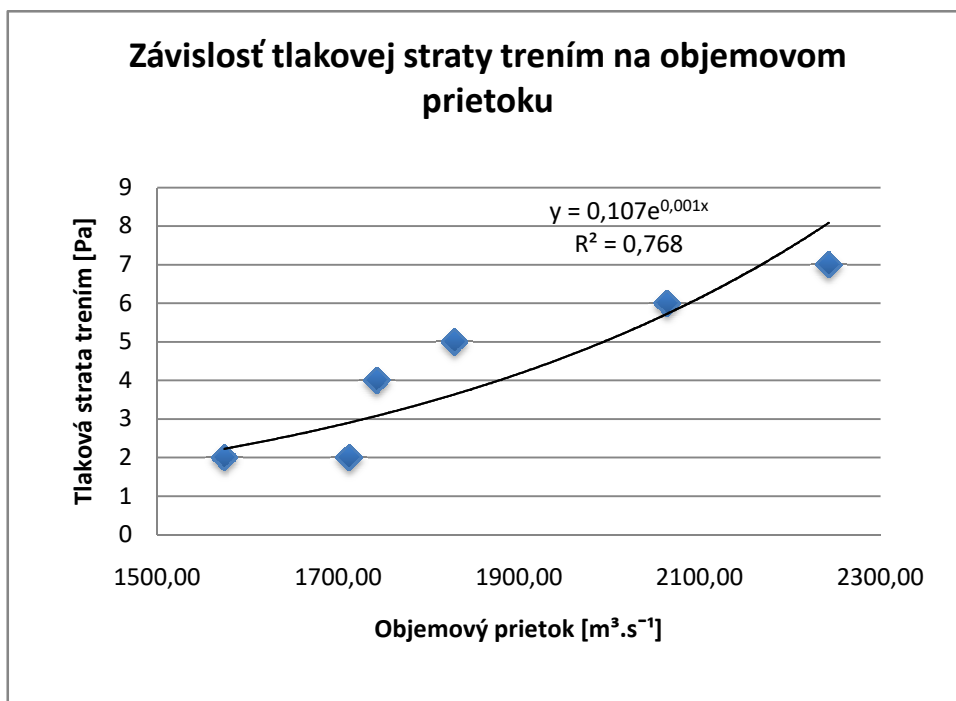
obr. 45 Graf závislosti tlakovej straty trením
na objemovom prietoku na vzorke Plech 1



obr. 46 Graf závislosti tlakovej straty miestnymi odpormi
na objemovom prietoku na vzorke Plech 1

tab. 9 Namerané hodnoty pre vzorku pozinkovaný plech 2

Vzorka pozinkovaný plech 2							
Meranie [-]	Ventilátor frekvencia [Hz]	Ventilátor 2 frekvencia [Hz]	Rýchlosť prúdenia v meracom potrubí [$m.s^{-1}$]	Objemov prietok [$m^3.h^{-1}$]	Tlaková strata miestnyr odpormi [Pa]	Tlaková strata trením (3 m) [Pa]	Tlaková strata trením [Pa/m]
1	43	80,1	19,83	2242,72	15	7	2,33
2	40	75,8	18,25	2064,03	13	6	2,00
3	30	75,8	16,17	1828,78	11	5	1,67
4	35	62,3	15,41	1742,83	10	4	1,33
5	30	62,2	15,14	1712,29	8	2	0,67
6	30	54,9	13,92	1547,31	7	2	0,67



obr. 47 Graf závislosti tlakovej straty miestnymi odpormi
na objemovom prietoku na vzorke Plech 1



obr. 48 Graf závislosti tlakovej straty trením
na objemovom prietoku na vzorke Plech 2

2.5.5 Zhodnotenie výsledkov

Po dosiahnutí a spracovaní výsledkov je možné skonštatovať, že pri porovnaní dvoch vzorkách rovnakého tvaru, avšak rôznych materiálov sa tlakové straty približujú k rovnakej hodnote. Z toho sa dá usúdiť, že oba materiály majú takmer podobnú drsnosť povrchu a teda aj súčiniteľ trenia. Je potrebné zdôrazniť, že pri všetkých vzorkách nebolo možné stanoviť tlakovú stratu na priamom úseku hneď za napojením na meracie potrubie, z dôvodu neustáleného prúdenia vzduchu v potrubí. Pri tvarových prvkoch ako je napríklad koleno alebo oblúk vychádza tlaková strata miestnymi odpormi mierne vyššia pri systéme CLIMAVÉR, keďže pri tomto type materiálu nie je možné vyhotoviť takúto tvarovku v oblúku, ale v segmentoch. Z grafov, ktoré prezentujú získané výsledky je zrejmé, že zatiaľ, čo pri priamych úsekoch je koeficient determinácie R^2 menší, tak pri tvarových kusoch sa viac približuje k hodnote 1. To znamená, že pri tvarových kusoch boli dosiahnuté presnejšie výsledky, ktoré sa viac približovali ku trendovej krivke. Mierny rozdiel medzi získanými hodnotami tlakových strát pri vzduchovodoch z pozinkovaného plechu a systému CLIMAVÉR môže byť spôsobený nepresnosťou merania, chybou merania, prípadne spôsobom vyhotovenia tvarových kusov. To môže vplývať na získané hodnoty. Presnejšie výsledky by možno bolo možné získať na vzorke väčších rozmerov pri použití prierezu, presnejšími meracími prístrojmi, prípadne dosiahnutím vyšších rýchlostí prúdenia vzduchu.

2.6 Postup pri skúške vzduchotesnosti

2.6.1 Zhotovenie meracej trate

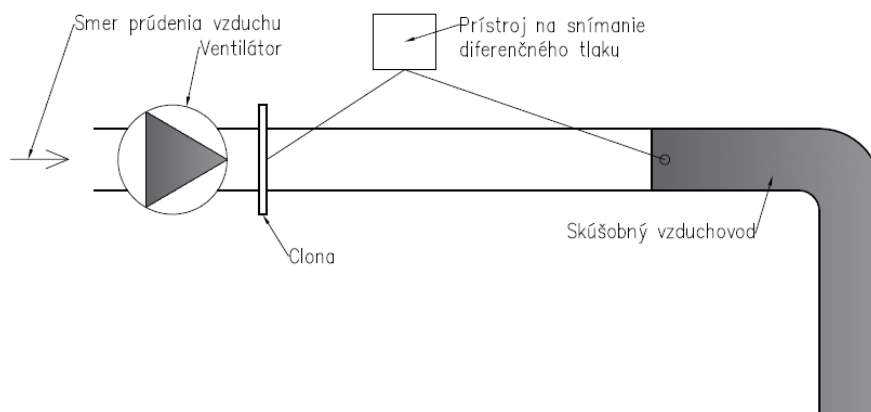
- Umiestnenie ventilátoru,
- pripevnenie clony na výtláčné potrubie ventilátora,
- osadenie redukcie pre kovové potrubie kruhového prierezu,
- pripevnenie prechodového kusu,
- pripojenie skúšaného potrubia,
- zaslepenie konca potrubia,
- zatesnenie všetkých spojov páskou.

2.6.2 Pripojenie zariadenia na meranie

- Vytvorenie otvoru pre odberné miesto diferenčného tlaku,

- upevnenie hadičky pre snímanie diferenčného tlaku do otvoru pomocou špeciálneho Prandtlovej sondy,
- pripojenie hadičiek z odberných miest z clony a z potrubia do snímača diferenčného tlaku.

Schéma meracej trate je zobrazená na obr. 49.



obr. 49 Schéma meracej trate pre skúšku vzduchotesnosti

2.6.3 Meranie

- Vynulovanie snímača tlakovej diferencie,
- zapnutie ventilátora a frekvenčného meniča pre zmenu otáčok,
- vytvorenie pretlaku o hodnote 400 Pa zmenou otáčok ventilátora,
- zapisovanie hodnôt tlakovej diferencie z odberných miest na clone,

Na túto skúšku sú použité dve vzorky, z každého materiálu jedna. Postup merania bol teda pri oboch vzorkách rovnaký. Prvé meranie prebehlo na potrubí z pozinkovaného plechu, ktorým bola ukončená skúška tlakových strát. Najprv bolo potrebné pripojiť odberné miesta diferenčného tlaku do snímača tlakovej diferencie pomocou hadičiek. V tomto prípade je meraným prvkom clona, pomocou ktorej je zistený prietok unikajúci netesnosťami. Ďalšie odberné miesto je v potrubí, kde sa zisťoval tlakový rozdiel medzi potrubím a okolitým prostredím. Tento tlakový rozdiel určuje hodnotu samotného pretlaku v potrubí, ktorý vzniká.

Pri zisťovaní tesnosti bol udržiavaný pretlak o hodnote 400 Pa v rozsahu $\pm 5 \%$ po dobu 5 minút. Tento postup bol opakovaný 5 krát, aby sa eliminovali chyby merania.

Pri vzduchovode systému CLIMAVÉR bol postup obdobný, avšak pri dosiahnutí pretlaku v potrubí 400 Pa nebola merateľná hodnota tlakovej diferencie na clone. To znamená, že prietok vzduchu bol menší ako je merací rozsah clony. Preto bolo potrebné toto prierezové meradlo nahradiť iným. Bol zvolený plynomer, ktorým je možné odmerať oveľa menšie prietoky vzduchu. Po dosiahnutí pretlaku 400 Pa bol uvoľnený ventil na plynomeri, aby ním vzduch pretekal. Bol určený impulz, kedy sa začalo merať a pomocou stopiek sa odčítala hodnota prietoku vzduchu za 60 s.

2.6.4 Výsledky merania

Meranie tesnosti vzduchovodov prebehlo celkom na dvoch vzorkách. Množstvo vzduchu, ktorý preniká netesnosťami bolo stanovené na základe tlakového rozdielu. Tlakové pomery v potrubí popisuje Bernoulliho rovnica. Rozdiel tlakov pred a za prekážkou je priamo úmerný druhej mocnine rýchlosti prúdenia:

$$Q = K_{kb} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$$

kde:

K_{kb} konštanta určujúca vlastnosti primárneho prvku prietokomeru [-]

Δp diferenčný tlak [Pa]

Maximálny únik vzduchu netesnosťami nám udáva faktor vzduchotesnosti f_{\max} , ktorý je uvedený v norme ČSN EN ISO 1507 ako aj v predpise Eurovent 2/2. Faktor vzduchotesnosti f sme stanovili podľa vzorca:

$$f = \frac{q_v}{A} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}]$$

kde:

q_v množstvo uniknutého vzduchu pri danom

testovacím pretlakom/podtlakom $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

A plocha potrubia $[\text{m}^2]$

Všetky odmerané a vypočítané hodnoty potrebné k skúške vzduchotesnosti sú pre prehľadnosť uvedené do tabuľky.

tab. 10 Namerané hodnoty pre vzorku pozinkovaný plech 2

Vzorka pozinkovaný plech 1							
Namerané hodnoty				Vypočítané hodnoty			
Merani [-]	Ventilátor frekvencia [Hz]	Tlaková diferencia [kPa]	Tlak v potrubí [Pa]	Objemový prietok [m³.h⁻¹]	Plocha potrubia [m²]	Faktor vzduchotesnosti [m³.s⁻¹.m⁻²]	Trieda tesnosti podľa EN 1507
1	85,00	2,22	403	29,6875	9,07	0,00091127	A
2	85,00	2,20	401	29,5529	9,07	0,00090715	A
3	85,00	2,24	405	29,8216	9,07	0,00091536	A
4	85,00	2,21	401	29,4854	9,07	0,00090921	A
5	85,00	2,19	400	29,418	9,07	0,00090302	A

tab. 11 Namerané hodnoty pre vzorku CLIMAVÉR 2

Vzorka CLIMAVÉR 2							
Namerané hodnoty				Vypočítané hodnoty			
Merani [-]	Ventilátor frekvencia [Hz]	Odpočet plynu [m³.min⁻¹]	Tlak v potrubí [Pa]	Objemový prietok [m³.h⁻¹]	Plocha potrubia [m²]	Faktor vzduchotesnosti [m³.s⁻¹.m⁻²]	Trieda tesnosti podľa EN 1507
1	31,75	0,030	402	1,80	11,92	0,0000419463	D
2	31,75	0,028	401	1,68	11,92	0,0000391499	D
3	31,75	0,029	403	1,74	11,92	0,0000405481	D
4	31,75	0,030	400	1,80	11,92	0,0000419463	D
5	31,75	0,028	401	1,62	11,92	0,0000377517	D

2.6.5 Zhodnotenie výsledkov

Pri prvej vzorke vzduchovodu z pozinkovaného plechu bola dosiahnutá trieda tesnosti A, pričom očakávaná bola trieda B, C. Tie neboli dosiahnuté ani napriek pridanému penovému tesneniu na všetkých spojoch jednotlivých dielov. Pri prvom skúšobnom meraní bolo pri vytvorení pretlaku výrazne cítiť únik vzduchu z potrubia, predovšetkým na rohoch v prírubových spojoch. Prírubové profily boli v rohoch

utesnené trvale pružným tmelom, avšak pri pozorovaní úniku vzduchu počas pretlakovania bolo jasné, že v niektorých spojoch chýba. Preto bol v týchto spojoch doplnení. Aj napriek utesneniu nedostatkov nebolo možné dosiahnuť očakávanú triedu tesnosti, teda vzorka z pozinkovaného plechu spadá do triedy tesnosti A.

Vzorka potrubia systému CLIMAVER bola odskúšaná najprv s clonkovou traťou na zistenie prietoku vzduchu. Po nameraní nulových hodnôt prietoku bolo usúdené, že je potrebné použiť meradlo s menším rozsahom, preto bol zvolený plynomer. Pomocou neho sa podarilo odmerať prietok vzduchu. Z dosiahnutých a vypočítaných hodnôt sa dá usúdiť, že táto vzorka spadá do triedy tesnosti D ako uvádza výrobca. Je to tak hlavne v dôsledku tesnosti prevedených spojov, odkiaľ vzduch z potrubia nemá kam unikáť.

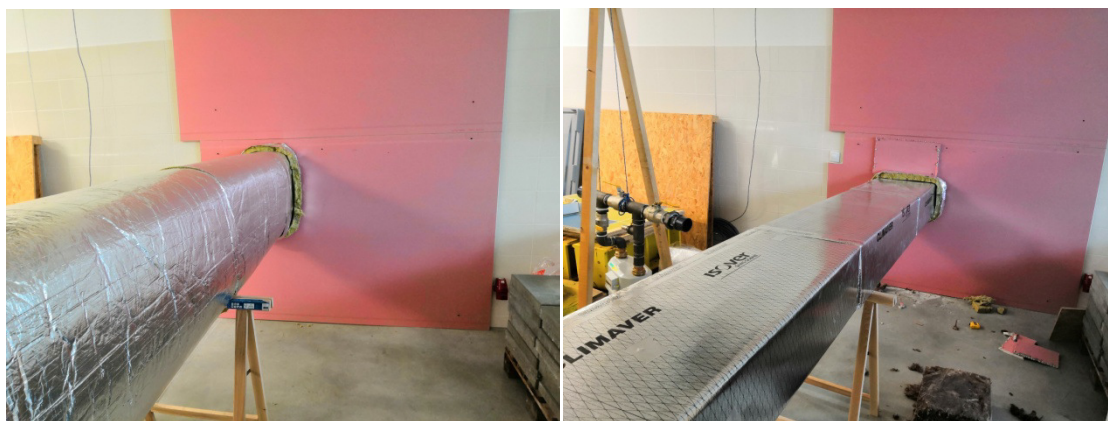
Keď sa porovnávajú výsledky skúšky tesnosti, je potrebné si všimnúť, že pri vzorke vzduchovodu z pozinkovaného plechu bol potrebný silnejší výkon ventilátora na dosiahnutie požadovaného pretlaku ako pri vzorke vzduchovodu systému CLIMAVER. V praxi by to znamenalo, že aj pri bežnom pretlaku alebo podtlaku, ktorý vzniká pri prevádzke vzduchotechnického systému v potrubí, je potrebné použiť väčší výkon ventilátora na dopravu požadovaného množstva vzduchu pri prvom variante a naopak menší pri druhom.

2.7 Postup pri skúške útlmu hluku v potrubí

Meracia trať pri skúške útlmu hluku zahŕňa hneď niekoľko úprav. Miesto, kde sú merané tlakové straty a vzduchotesnosť sa nachádza v priestore haly, ktorá je pre skúšku útlmu hluku nevyhovujúca. Preto bolo potrebné použiť iné priestory, aby sa dosiahli vhodné podmienky. Vyhovujúce boli dve laboratóriá vzájomne prepojené dvermi. Do jednej miestnosti bola umiestnená skúšobná trať, teda ventilátor so skúšanými vzduchovodmi a do druhej je cez dverný otvor, ktorý sa najprv akusticky utesnil, vyústený koniec skúšanej vzorky. Dverný otvor sa utesnil sadrokartónovými doskami z oboch strán a dutinu sa vyplnila zvukovou izoláciou. Pri vzorke z pozinkovaného plechu bolo potrebné vzduchovod akusticky zaizolovať, tak ako sa v skutočnosti realizuje, a tým sa získa skutočná hodnota útlmu hluku. Vykonalo sa tak akustickou izoláciou z minerálnej vlny hr. 40 mm. Pri systéme CLIMAVER to potrebné nie je, keďže vzduchovod už izoláciu obsahuje.

2.7.1 Zhotovenie meracej trate

- Umiestnenie ventilátora do miestnosti č.1,
- následne napojenie skúšobného potrubia,
- akustické utesnenie dverného otvoru,
- vytvorenie otvoru pre umiestnenie konca skúšaného vzduchovodu,
- umiestnenie voľného konca vzduchovodu do vytvoreného otvoru,
- zatesnenie spojov tesniacou páskou.

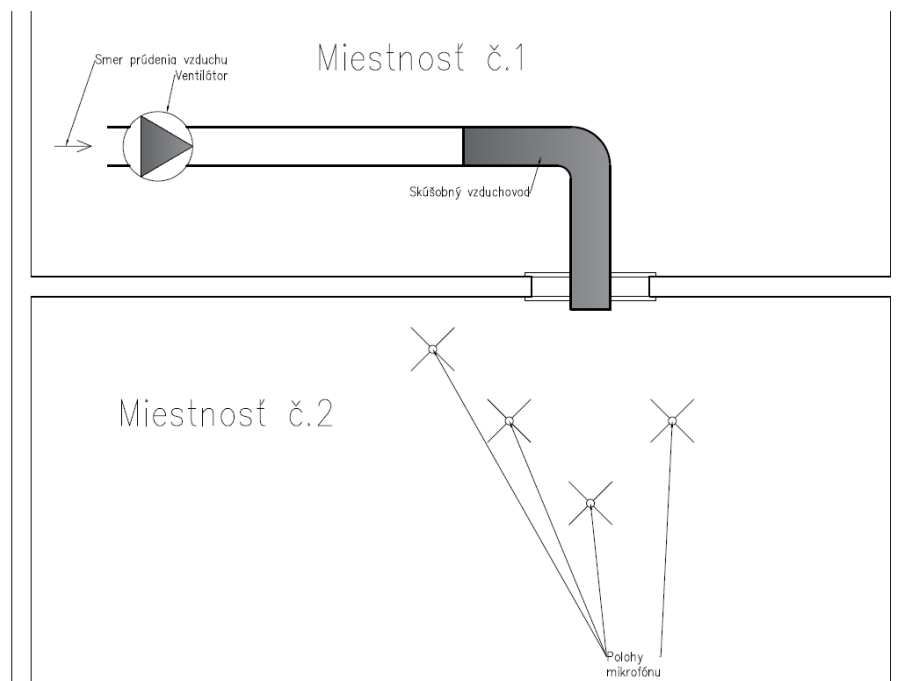


obr. 50 Vľavo vzorka z pozinkovaného plechu, vpravo systém CLIMAVER

2.7.2 Pripojenie zariadenia na meranie

- V miestnosti č.2 je umiestnený zvukový analyzátor na viacero vopred určených polôh, v tomto prípade boli určené štyri polohy

Schéma meracej trate pre útlm hluku je znázornená na obr. 51.



obr. 51 Schéma meracej trate pre útlm hluku

2.7.3 Meranie

- zapnutie ventilátora a frekvenčného meniča,
- zistenie akustických parametrov zdroja hluku a to tak, že do otvoru medzi miestnosťami je vložené kruhové potrubie ϕ 200 mm,
- zapisovanie hladiny akustického tlaku pre jednotlivé pozície zvukového analyzátora,
- pre obe vzorky potrubí ako aj zdroj hluku vykonanie troch meraní pre každú pozíciu zvukového analyzátora,
- rozdiel medzi hladinou akustického tlaku zdroja hluku a skúšanými vzduchovodmi udáva hodnotu útlmu hluku v potrubí.

Na skúšku útlmu hluku boli použité obe vzorky vzduchovodov ako pri predošlých skúškach, avšak trať bolo potrebné upraviť. Využili sa dve miestnosti prepojené dvermi. Dverný otvor sa zadebnil sadrokartónovými doskami a dutina sa vyplnila akustickou izoláciou. Do jednej z miestností sa umiestnila meracia trať s ventilátorom, do druhej sa vyústil koniec skúšobného vzduchovodu cez vytvorený otvor v zadebnených dverách.

Najprv bolo potrebné stanoviť akustické parametre zdroja hluku, v tomto prípade ventilátora. Tie boli zistené tak, že voľný koniec kruhového potrubia priemeru ϕ 200 mm bol vložený do otvoru, ktorý vyúsťuje do miestnosti č. 2. Okolie potrubia v otvore bolo dôkladne izolované, aby nedošlo k úniku hluku z jednej miestnosti do druhej. Spustil sa ventilátor a pre každú polohu mikrofónu sa vykonali tri merania, každé po dobu trvania 30 s. Celkovo boli použité dva meracie prístroje, bolo teda možné merať dve polohy naraz. Zistené hodnoty hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq}$ boli zapísané do tabuľky, okrem týchto hodnôt prístroje zaznamenávali ďalšie parametre do svojej pamäte, čo bolo následne možné prevziať priamo v elektronickej podobe.

Následne bola odmeraná hladina akustického tlaku oboch typov vzduchovodov. Meranie prebiehalo obdobne ako pri zdroji hluku.

Posledné meranie bolo na zistenie hodnôt pozadia. To nám slúži ako údaj, či meranie prebehlo korektne, keďže by mal byť zachovaný rozdiel medzi hladinou akustického tlaku pozadia a meraného prvku min. 6 dB.



obr. 52 Priebeh merania útlmu hluku

2.7.4 Výsledky merania

Zo získaných dát bolo potrebné dostať hodnotné údaje. Ekvivalentnú hladinu akustického tlaku $A L_{Aeq}$, ktorá bola zapisovaná do tabuľky bola k dispozícii. Z dát bola pre vyhodnotenie útlmu použitá ekvivalentná hladina akustického tlaku vo frekvenčnom pásme L_{eq} . Zo všetkých vyhodnotených oktávových pásem boli použité pásma 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1,0 kHz, 2,0 kHz, 4,0 kHz a 8,0 kHz. Je potrebné

poznamenat', že aj nízke oktávové pásma majú svoje zastúpenie v akustike vo vzduchotechnických systémoch. Štandardne sa vyhodnocujú oktávové pásma v rozsahu od 125 Hz do 8,0 kHz.

Rozdiel hodnôt hladiny akustického tlaku zdroja hluku a jednotlivých vzduchovodov udáva útlm hluku.

$$\Delta L_i = L_{zi} - L_{pii} \text{ [dB]}$$

kde:

ΔL_i útlm hluku v i – tom oktávovom pásme [dB]

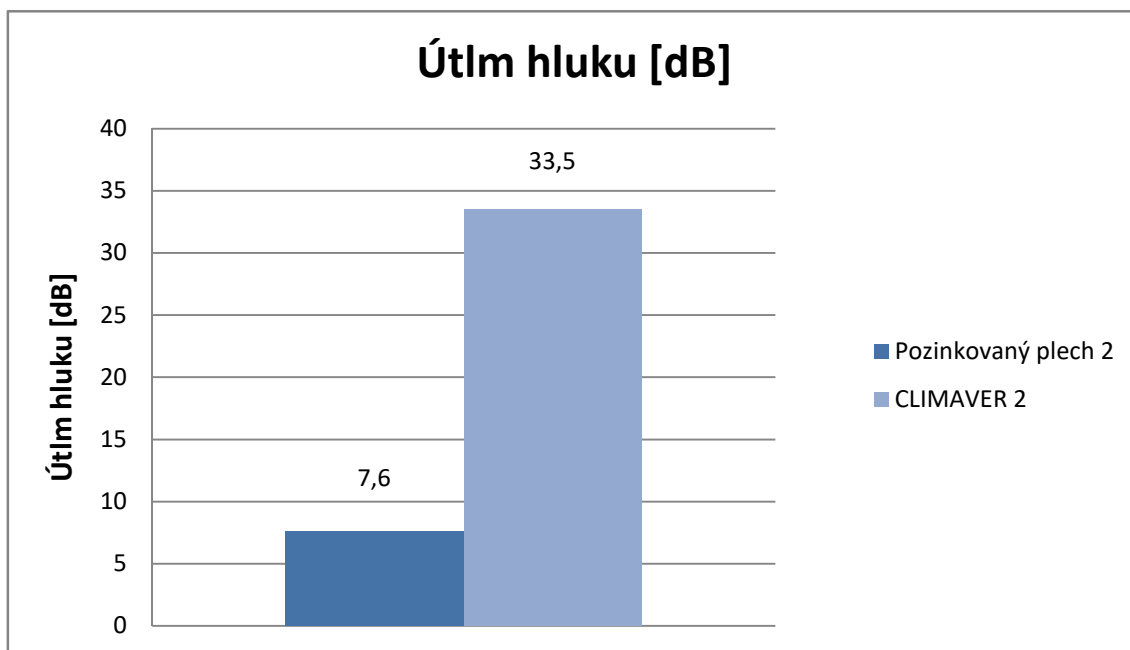
L_{zi} hladina akustického tlaku i – tého oktávového pásma zdroja zvuku [dB]

L_{pii} hladina akustického tlaku i – tého oktávového pásma vzorky potrubia [dB]

Odmerané a spracované hodnoty z meracieho zariadenia. sú zaznamenané v tabuľkách.

tab. 12 Namerané hodnoty ekvivalentnej hladiny akustického tlaku A_{Leq}

Poloha	Hladina akustického tlaku zdroj hluku [dB]	Hladina akustického tlaku pozinkovaný plech 2 [dB]	Hladina akustického tlaku CLIMAVER 2 [dB]	Útlm hluku pozinkovaný plech 2 [dB]	Útlm hluku CLIMAVER 2 [dB]	Rozdiel útlmov [dB]	Pozadie [dB]
1	71,1	57,2	39,0	13,9	32,1	18,2	31,2
2	71,0	64,9	37,2	6,1	33,8	27,7	31,7
3	72,5	67,2	38,7	5,3	33,8	28,5	30,7
4	71,8	66,7	37,4	5,1	34,4	29,3	30,2
Priemer	71,6	64,0	38,1	7,6	33,5	25,9	31,0

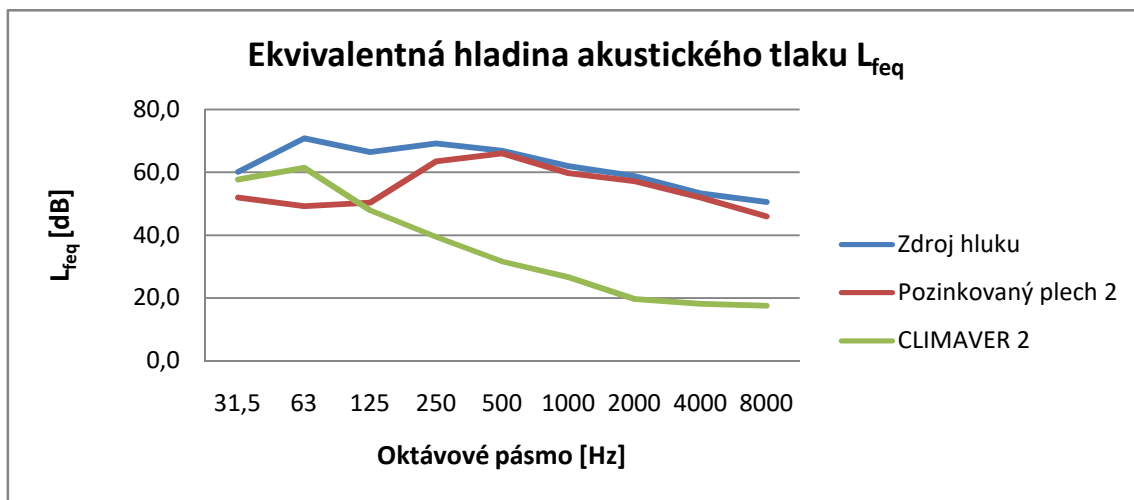
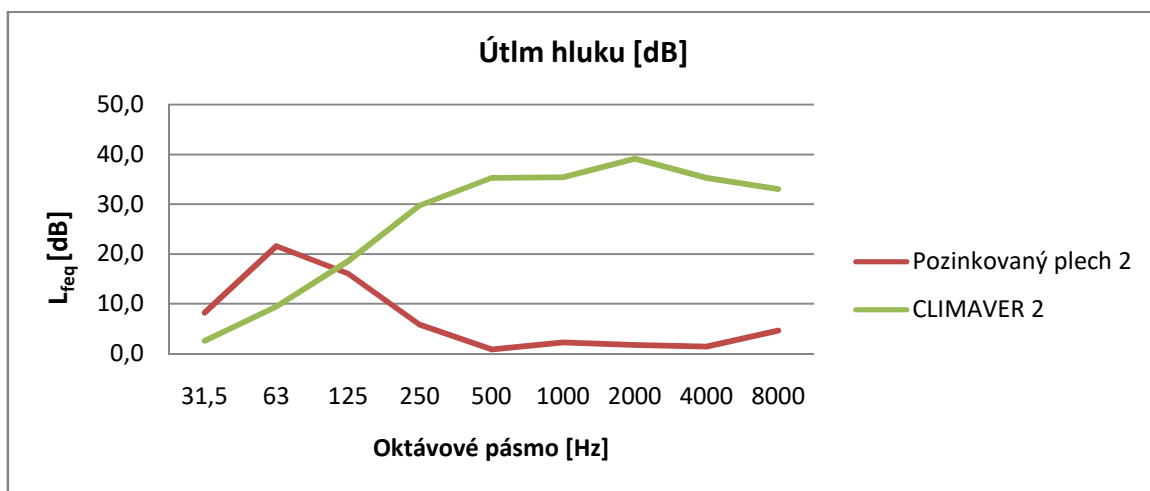


obr. 53 Graf znázorňující útlmy hluku v oboch vzorkách vzduchovodov

Vyššie uvedené výsledky skúšky útlmu hluku v potrubí prezentujú nameranú ekvivalentnú hladinu akustického tlaku $A_{L_{Aeq}}$. Avšak pre vyhodnotenie je v praxi výhodnejšie použiť ekvivalentnú hladinu akustického tlaku L_{feq} v jednotlivých oktávových pásmach.

tab. 13 Nameraná hodnoty ekvivalentnej hladiny akustického tlaku L_{feq} v oktávových pásmach

Oktávové pásmo [Hz]	Hladina akustického tlaku zdroj hluku [dB]	Hladina akustického tlaku pozinkovaný plech 2 [dB]	Hladina akustického tlaku CLIMAVÉR 2 [dB]	Útlm hluku pozinkovaný plech 2 [dB]	Útlm hluku CLIMAVÉR 2 [dB]
31,5	60,2	52,0	57,7	8,2	2,5
63	70,8	49,3	61,4	21,6	9,4
125	66,5	50,4	47,9	16,1	18,5
250	69,2	63,4	39,5	5,8	29,7
500	66,8	66,0	31,6	0,8	35,2
1 000	62,0	59,7	26,6	2,3	35,4
2 000	58,8	57,1	19,8	1,7	39,1
4 000	53,4	52,0	18,1	1,4	35,2
8 000	50,6	45,9	17,6	4,6	33,0

obr. 54 Graf zobrazujúci zistené hodnoty ekvivalentnej hladiny akustického tlaku L_{feq} [dB]

obr. 55 Graf zobrazujúci hodnoty útlmu hluku vo vzduchovodoch

2.7.5 Zhodnotenie výsledkov

Zo získaných výsledkov tab. 12 predstavuje zistené hodnoty ekvivalentnej hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq}$, ktoré boli zistené priamo pri meraní odpisovaním z meracích prístrojov. Je to časovo priemerovaná hladina zvuku. Z týchto výsledkov je zrejmé, že pri vzduchovode z pozinkovaného plechu sú dosiahnuté hodnoty blízke hodnotám, ktoré boli zistené pri zdroji hluku. To znamená, že tento druh potrubia má malý útlm hluku, dokonca aj napriek tomu, že bol akusticky izolovaný ako sa štandardne takéto vzduchovody vyhotovujú. Pri vzorke systému CLIMAVÉR sú evidované výsledky, ktoré sú výrazne nižšie oproti predošlej vzorke. To znamená, že tento typ vzduchovodu má väčší útlm, keď sú porovnávané práve tieto dve vzorky.

Hodnota útlmu hluku pre vzorku z pozinkovaného plechu dosiahla 7,6 dB, vzorka systému CLIMAVÉR 33,5 dB, čo predstavuje rozdiel 25,9 dB.

Tab. 13 predstavuje výsledky meraní ekvivalentnej hladiny akustického tlaku L_{feq} v oktávových pásmach. Vo vzduchotechnike sa najčastejšie používajú oktávové pásma od 63 Hz do 8 kHz. Získané hodnoty pre jednotlivé oktávové pásma sú prezentované aj graficky, napr. na obr. 51 je zrejmé, že pre vzduchovod z pozinkovaného plechu má menšie hodnoty L_{feq} v veľmi nízkych oktávových pásmach, naopak od oktávového pásma 500 Hz sa výrazne približuje k hodnotám zdroja hluku. To znamená, že kým pri veľmi nízkych oktávových pásmach má väčší útlm hluku, s rastúcim oktávovým pásmom naopak útlm hluku klesá. Pri systéme CLIMAVÉR sú hodnoty L_{feq} pri veľmi nízkych oktávových pásmach bližšie k hodnotám zdroja hluku, avšak od oktávového pásma 63 Hz tieto hodnoty výrazne klesajú. To znamená, že týmto spôsobom rastie útlm hluku. Obr. 52 znázorňuje hodnoty útlmu hluku pre porovnávané vzorky. Je zrejmé, že vzorky majú rovnakú hodnotu útlmu hluku približne v oblasti oktávového pásma 125 Hz. Od tohto pásma vyššie sa tieto hodnoty navzájom vzdávajú. Pri systéme CLIMAVÉR je zaznamenaná najvyššia hodnota útlmu hluku 39,1 dB pri oktávovom pásme 2000 Hz, najnižšia 2,5 dB pri 31,5 Hz. Pri vzorke z pozinkovaného plechu dosahuje najvyššia hodnota útlmu hluku 21,6 dB pri oktávovom pásme 63 Hz, najnižšia 0,8 dB pri 500 Hz. Z grafu je zrejmé, že pre oktávové pásma používané v stavebnej akustike dosahuje vzorka systému CLIMAVÉR vyššie hodnoty útlmu hluku ako vzorka z pozinkovaného plechu. Tento rozdiel útlmu hluku bol pri meraní výrazne rozoznateľný ľudským uchom.

Fakt, že vzduchovod z pozinkovaného plechu, ktorý je akusticky izolovaný dosahuje nízke hodnoty útlmu hluku je pravdepodobne preto, že obsahuje materiál, ktorý je dobrým vodičom hluku – kov. Aj napriek akustickej izolácii sú získané hodnoty nízke. Takto vznikajúci hluk je následne potrebné riešiť vhodným návrhom tlmičov hluku, ktoré tento nedostatok utlmia. Pri systéme CLIMAVÉR ide fakticky o minerálnu vlnu, ktorá cez vrstvu textilnej tkaniny tlmí hluk, teda neobsahuje zvuk vodivý materiál.

3 Porovnanie z ekonomického hľadiska

Porovnanie z ekonomického hľadiska bolo vypracované v zimnom semestri akademického roku 2018/2019 v rámci predmetu 125PIB2 Projekt 2 na konkrétnom reálnom príklade navrhovanej budovy. Jedná sa o novobudovaný objekt administratívneho typu DOCK IN FOUR s celkom 7 nadzemnými (1-7.NP) a tromi podzemnými podlažiami (1-3. PP). Nadzemné podlažia sú kancelárskeho charakteru okrem 1.NP, ktoré je tvorené vstupnými halami a prenajímateľnými obchodnými priestormi. V podzemných podlažiach sú garážové státa, technické miestnosti a ostatné zázemie objektu. Objekt sa nachádza v Prahe 8 – Palmovke.

3.1 Investičné výdaje

Obdobne ako pri experimentálnej časti práce aj tu sa porovnávali dva typy vzduchotechnického potrubia, a to potrubie z pozinkovaného plechu s tepelnou izoláciou a potrubie z dosiek z minerálnej vlny CLIMAVÉR. Trasy a dimenzie vzduchovodov boli navrhnuté rovnako ako pre prvý, tak aj pre druhý typ materiálu. Do porovnania bolo zahrnuté len samotné riešenie vzduchovodov, jeho priame úseky a tvarovky, bez napojení na koncové jednotky. Ostatné súčasti vzduchotechnického systému, ako napr. tlmiče hluku, regulačné klapky, doplnkové ventilátory ako aj samotné vzduchotechnické jednotky neboli súčasťou porovnania v tejto časti práce. Je potrebné dodať, že aj spomenuté časti systému by taktiež mali vplyv na konečné investičné náklady. Návrh trás vzduchovodov bol vypracovaný v programe CADKON, ktorý disponuje 2D vykresľovaním potrubia, s presne definovanými parametrami jednotlivých priamych úsekov a tvaroviek, z čoho je následne možné vytvoriť výkaz výmer všetkých položiek v podobe výstupu do programu Microsoft Excel. To nám výrazne uľahčilo prácu. Po vypracovaní projektovej dokumentácie (viď príloha A) resp. výkazu výmer pre oba typy potrubia (viď príloha B), boli oslovené realizačné firmy na vyhotovenie cenovej ponuky pre oba druhy vzduchovodov. Pre plechové potrubie s tepelnou izoláciou vypracovala cenovú ponuku firma Morys s.r.o., Kórejská 894/9, Přívoz, 702 00 Ostrava a pre potrubie z dosiek z minerálnej vlny CLIMAVÉR vypracovala cenovú ponuku firma IZOLACE ARAX JIHLAVA, s.r.o.

Pri navrhovaní vzduchovodov z pozinkovaného plechu, ktoré boli doplnené tepelnou izoláciou hr. 40 mm vyšla celková plocha priamych úsekov 2 876,70 m²

a plocha tvarových kusov 464,89 m² vrátane 15 % prerezu. Z toho vyplýva, že plocha tvarových prvkov predstavuje 13,90 % z celkovej plochy 3 341,59 m² potrubia z pozinkovaného plechu. Plocha tepelnej izolácie pre priame kusy potrubia bola vypočítaná na hodnotu 3 225,85 m², pre tvarové kusy 590,95 m². Podobne aj plocha izolácie predstavuje necelých 15,50 % z jej celkovej plochy 3 816,80 m². V cenovej ponuke bola zahrnutá cena priamych kusov potrubia vrátane jej avizovaného navýšenia na prelome rokov 2018/2019, ktorá činila 319,00 Kč/m² pri prereze s dlhšou hranou do 600 mm. Pri hrane dlhšej ako 600 mm to bolo 363,00 Kč/ m². Podobne to bolo aj s tvarovými kusmi, pri tvarovkách s dlhšou hranou do 600 mm bola cena stanovená na 373,00 Kč/ m², pri hrane dlhšej ako 600 mm bola cena 413,00 Kč/ m². Jednotková cena montáže predstavovala hodnotu 200 Kč/ m². Cena tepelnej izolácie bola podľa v tom čase platného cenníka 201 Kč/m². K celkovej cene tepelnej izolácie boli započítané aj kotviace trne, ktorých cena bola 2,24 Kč/ks a AL páska, za ktorú by sme zaplatili 2,50 Kč/m. Cena montáže bola pri tepelnej izolácii 130 Kč/m². Všetky vyššie uvedené ceny boli bez DPH.

Prehľad celkových cien variantu plechového vzduchovodu s tepelnou izoláciou vrátane ceny montáže je zobrazený v tab. 12.

tab. 14 Prehľad plôch a cien vzduchovodov z pozinkovaného plechu a tepelnej izolácie

	Plocha [m ²]	Cena [tis. Kč]
Priamy kus (plech)	2 876,70	1 503,21
Tvarová plocha (plech)	464,89	289,31
Priamy kus (tepelná izolácia)	3 225,85	1 190,06
Tvarová plocha (tepelná izolácia)	590,95	216,83
CENA CELKOM		3 199,41

Pri návrhu vzduchovodov z dosiek z minerálnej vlny CLIMAVÉR, ktoré majú hr. 25 mm sa postupovalo obdobne, čo sa týka trás a dimenzii prierezov. V tomto prípade nebolo potrebné riešiť tepelnú izoláciu ako samostatnú položku, keďže tento produkt tepelnú izoláciu už obsahuje. Plocha priamych úsekov, ktorá bola navrhnutá, činí 3 226,00 m². Plocha tvarových kusov bola 591,00 m², čo je 15,48 % z celkovej

plochy 3817,00 m² vzduchovodov. Aj pri tomto variante je plocha vrátane 15 % prerezů.

Celková cena za materiál vrátane montáže bola vyčíslená pri priamych úsekoch na 2 613,04 tis. Kč, pri tvarovkách na 589,82 tis. Kč. Aj tieto ceny sú uvedené bez DPH. Pre prehľadnosť sú plochy a ceny uvedené do tab. 13.

tab. 15 Prehľad plôch a cien vzduchovodov systému CLIMAVER

	Plocha [m ²]	Cena [tis. Kč]
Priamy kus	3 226,00	2 613,04
Tvarová plocha	591,00	589,82
CENA CELKOM		3 202,86

3.1.1 Zhodnotenie výsledkov

Po získaní cenovej ponuky pre vzduchovodov z pozinkovaného plechu a tepelnej izolácie ako prvého variantu a vzduchovodov z dosiek z minerálnej vlny CLIMAVER je možné zhodnotiť, že počiatočné investičné výdaje na vzduchovody sú takmer rovnaké. Je ale potrebné zdôrazniť, že ceny za materiál a montáž by sa mohli odlišovať v rôznych regiónoch. Z tohto dôvodu by bolo pre detailnejšie porovnanie cien investičných nákladov vhodné vziať do úvahy viacero realizačných firiem z rôznych oblastí ČR. Taktiež je potrebné spomenúť, že pri tomto porovnaní sa uvažovalo len so samotnými vzduchovodmi, čiže ostatné súčasti ako sú tlmiče hluku, ktoré by pravdepodobne pri niektorom variante boli potrebné, ventilátory, koncové výstupy a mnohé iné, nie sú zahrnuté. Ak by sa to poňalo so všetkými potrebnými komponentmi a súčasťami, ceny by sa mohli odlišovať výraznejšie. Aj keď sú investičné výdaje zhruba na rovnakej úrovni, z dlhodobého hľadiska je potrebné uvažovať s nákladmi prevádzkovými, ktoré sú dôležité hlavne pre koncového užívateľa budovy, resp. vzduchotechnického systému. Tým sa venuje nasledujúca podkapitola.

3.2 Prevádzkové náklady

Pri prevádzkových nákladoch sa porovnávala cena za spotrebovanú elektrickú energiu na prepravu požadovaného množstva vzduchu ventilátorom pre obe varianty riešenia vzduchovodov.

Z experimentálnej časti práce sa dá využiť skutočnosť, že pri skúške vzduchotesnosti boli dosiahnuté výrazne rozdielne výsledky pre vzduchovod z pozinkovaného plechu a pre vzduchovod systému CLIMAVÉR. Pri vzorke z pozinkovaného plechu o ploche vzduchovodu $9,07 \text{ m}^2$ sa zaznamenal pri pretlaku 400 Pa únik vzduchu o hodnote $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Pri vzorke systému CLIMAVÉR, ktorá mala plochu $11,92 \text{ m}^2$ uniklo $1,80 \text{ m}^3/\text{h}$. To predstavuje skoro 17 násobný rozdiel.

Ak by sa táto skutočnosť previedla do praxe, znamenalo by to, že pri vzduchovodoch z pozinkovaného plechu je potrebný väčší výkon ventilátora na dopravuje potrebného množstva vzduchu, pretože časť vzduchu unikne netesnosťami. Pre väčší výkon je potrebné viac elektrickej energie, s čím súvisí aj vyššia cena za použitú elektrickú energiu.

Prevádzkové náklady sú určené na modelovom príklade. Z investičných výdajov je zrejmé, koľko m^2 tvorí ten ktorý variant. Na základe projektovej dokumentácie (viď. príloha A) je spočítané množstvo prepravovaného vzduchu potrubím, na ktoré sa počítali investičné výdaje. K obom variantom je pripočítaná na základe zistení zo skúšky vzduchotesnosti množstvo vzduchu, ktoré by uniklo netesnosťami. Na toto množstvo vzduchu je určený vhodný ventilátor, ktorý má určitý výkon. Je potrebné poznamenať, že pri bežnej prevádzke vzduchotechnického systému sa vo vzduchovodoch neudržiava tak vysoký pretlak. Prevádzkové náklady sú len orientačné, poukazujú nato, že pri jednom z variantov bude výrazne vyššia úspora elektrickej energie na prepravu vzduchu ventilátorom.

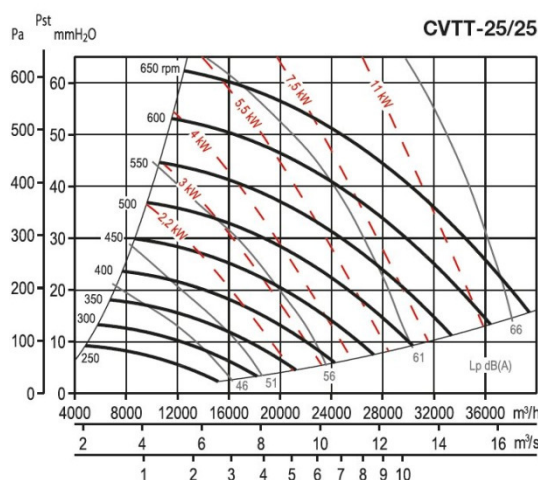
tab. 16 Potrebné množstvo dopravovaného vzduchu

Variant	Plocha [m^2]	Potrebné množstvo vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	Únik vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$]	Únik vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]	Podiel na potrebnom množstve vzduchu [%]	Skutočne potrebné množstvo vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]
Pozinkovaný plech	3 341,59	99 160	3,27	10 927,00	11,0200	110 087,00
CLIMAVÉR	3 871,00	99 160	0,15	580,65	0,0059	99 740,65

Pri tomto porovnaní je zrejmé, že pri variante z pozinkovaného plechu bude potrebné prepraviť väčšie množstvo vzduchu ventilátorom ako pri variante systému CLIMAVÉR. Ak sa pre zjednodušenie rozdelí skutočne potrebné množstvo vzduchu na

5 rovnakých ventilátorov, podobne ako to je v projektovej dokumentácii, bude možné určiť ročné prevádzkové náklady na prepravované množstvo vzduchu. Bol určený ventilátor s maximálnym prietokom vzduchu 25 500 m³/h. Jeho parametre sú nasledovné:

Typ: CVTT 25/25
Množstvo vzduchu: max. 25 500 m³/h
Výkon motora: 4,0 kW
Max. otáčky: 600 rpm
Napätie: 400 V



obr. 56 Pracovní diagram ventilátoru

Ak sa vezme do úvahy mierne naddimenzovaný ventilátor, aby nebol vo funkcii na plný výkon, sú potrebné rozdielne množstvá elektrickej energie. Podľa fondu pracovnej doby je v Českej republike v roku 2019 251 pracovných dní. Keďže sa jedná o administratívnu budovu, uvažuje sa čas prevádzky 8 hod. denne.

tab. 17 Spotřeba el. energie na prepravu vzduchu jedným ventilátorom

Vzorka	Potrebné množstvo vzduchu [m ³ .h ⁻¹]	Potreba el. energie [kW]	Cena el. energie [Kč/kWh]	Počet prac. dní [-]	Počet hod. prevádzky [h]	Spotřeba el. energie [kWh]	Cena el. energie celkom [Kč]
Pozinkovaný plech	22 017,40	3,0	4,34	251	2 008	6 024,00	26 144,16
CLIMAVER	19 948,13	2,2				4 417,60	19 172,38

Z tab. 15 je zřejmé, že při variantě systému CLIMAVÉR by se dosáhla možná úspora 6971,78 Kč. Tato úspora je vypočítaná pro jeden ventilátor. Následující tabulka poukazuje na hodnoty pro všech pět ventilátorů.

tab. 18 Spotřeba el. energie na dopravu vzduchu všemi ventilátory

Vzorka	Potřebné množství vzduchu [m ³ .h ⁻¹]	Potřeba el. energie [kW]	Cena el. energie [Kč/kW.h]	Počet prac. dní [-]	Počet hod. prevádzky [h]	Spotřeba el. energie [kWh]	Cena el. energie celkom [Kč]
Pozinkovaný plech	110 087,00	15,0	4,34	251	2 008	30 120	130 720,80
CLIMAVÉR	99 740,65	11,0				22 088	95 861,92

Tab. 16 určuje možnou úsporu při všech použitých ventilátorech na danom objektu. Tato úspora je len orientačná, spotřeba elektrické energie je len za dopravu vzduchu ventilátory, nezahrňuje jiné energie ako napr. ohrev a chlazení vzduchu, jiné úpravy vzduchu, nezahrňuje úsporný režim v budově. Při těchto dvou variantách vzduchovodů je možný rozdíl v ročních provozních nákladech 34 858,88 Kč.

3.2.1 Zhodnotenie výsledkov

Po dosiahnutí výsledkov ročních provozních nákladů na chod ventilátorů vo zvolenom objektu je možné usoudit, že vzduchovod z pozinkovaného plechu je kvůli menší těsnosti více nákladný ako vzduchovod systému CLIMAVÉR. Pro menší těsnost, která je způsobená hlavně spoji, tak uniká větší množství vzduchu, čím je potřebné tento deficit dohnat vyšším výkonem ventilátoru, a tím aj vyšší spotřebou energie. To se projeví aj vyšším vyúčtováním za elektrickou energii.

Kým sa investičné výdaje oboch variantů vzduchovodů takmer rovnali, při nákladech provozních nastává rozdíl. Ak sa uvažuje takýto rozdíl počas celej životnosti budovy, je možné hledat úsporu finančních prostředků aj vhodným zvolením materiálu vzduchovodů, důkladným vyhotovením a precíznym provedením na stavbě.

4 Závěr

Táto diplomová práca mala za úlohu porovnanie vzduchovodov používaných vo vzduchotechnických systémoch. Hlavná časť práce pozostávala z experimentu, kde boli porovnávané technické vlastnosti dvoch typov vzduchovodov, ktoré sú dôležité pre správny návrh a prevádzku systému.

Teoretická časť práce sa venovala porovnaniu vzduchovodov z materiálového hľadiska, prevedenia spojov a výroby. Ďalej boli teoreticky popísané technické vlastnosti vzduchovodov, konkrétne vzduchotesnosť, tlakové straty a útlm hluku v potrubí. Pre každú vlastnosť boli popísané normové požiadavky, podľa ktorých je potrebné postupovať pri výpočtoch a meraní potrebných parametrov. Podľa týchto noriem sú popisované aj metodiky merania pre spomínané technické vlastnosti, ktoré boli následne využité v experimentálnej časti práce.

Experimentálna časť práce pozostávala z porovnania vlastností dvoch vzoriek vzduchovodov, vzorky z pozinkovaného plechu a vzorky z dosiek z minerálnej vlny CLIMAVER. Všetky skúšky boli vykonané v Univerzitnom centre energeticky efektívnych budov v Prahe. Experiment pozostával zo skúšky tlakových strát, kde boli zisťované hodnoty celkom na štyroch vzorkách, a to dvoch z každého materiálu. Ďalej boli vykonané skúšky vzduchotesnosti na dvoch vzorkách a skúšky útlmu hluku taktiež na dvoch vzorkách. Všetky získané hodnoty boli spracované a porovnané. Výsledky prezentujú hlavné technické vlastnosti, ktoré predurčujú možnosť správneho návrhu a použitia vzduchovodov pre rôzne typy budov. Získanými výsledkami vieme porovnať tie ktoré vlastnosti, ktoré následne ovplyvňujú jednak návrh ale aj prevádzku vzduchotechnického systému a s tým spojené investičné výdaje a prevádzkové náklady.

Posledná časť sa venuje ekonomickému porovnaniu vzduchovodov na konkrétnom stavebnom objekte. Boli vyčíslené investičné náklady na základe návrhu trás vzduchovodov, vyhotovenia výkazu výmer a cenovej ponuky od realizačných firiem. Prevádzkové náklady boli vyčíslené na základe znalostí výsledkov z experimentálnej časti a ich prevedenia na daný objekt.

Je vhodné podotknúť, že cieľ práce bol dosiahnutý. Boli porovnané potrebné technické parametre, kde výsledkom boli adekvátne hodnoty, ktoré prezentujú rozdiely v jednotlivých typoch vzduchovodov. Okrem týchto vlastností sú tu aj mnohé iné dôležité pre funkčnosť a efektívnosť vzduchovodov, avšak tie neboli cieľom tejto práce.

Literatúra

1. **Drkal František, Zmrhal Vladimír.** *Větrání.* Praha : Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze, 2018. ISBN 978-80-01-06378-1.
2. **Centnerová Lada, Papež Karel.** *Technická zařízení budov 30, Vzduchotechnika, Cvičení.* Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02251-X.
3. **Gebauer Günter, Rubinová Olga, Horká Helena.** *Vzduchotechnika.* Brno : ERA, 2005. ISBN: 80-7366-027-X.
4. **Technov s.r.o.** Technov. *Štvorhranné potrubia, Technické podmienky, TPT 03-012.* [Online] [Dátum: 10. 03 2019.] <http://technov.sk/wp-content/uploads/2013/03/TPT-03-12-%C5%A0TVORHRANN%C3%89-POTRUBIE-912.pdf>.
5. **Technov, s.r.o.** Technov. *Kruhové potrubie, Technické podmienky, TPT 11-12.* [Online] [Dátum: 10. 03 2019.] <http://technov.sk/wp-content/uploads/2013/04/TPT-11-12-KRUHOV%C3%89-POTRUBIE.pdf>.
6. **Saint-Gobain Construction products, s.r.o.** Isover. *Izolácie vzduchotechniky.* [Online] [Dátum: 3. 10 2019.] https://www.isover.sk/sites/isover.sk/files/styles/isvr_wide/public/assets/images/vzduchotechnika_zateplenie_isolaciou_isover.jpg?itok=ndqpaVbx.
7. **Saint - Gobain.** Climaver. [Online] [Dátum: 16. 03 2019.] https://www.climaver.cz/userfiles/brozura-climaver-2019_15495478148438.pdf.
8. **Saint-Gobain.** *Montážní příručka ke vzduchovodům CLIMAVÉR.*
9. **FORT PLASTY.** *Vzduchotechnická z plastů.* s.l. : FORT PLASTY, 2008.
10. **Lindab Ventilace.** tzbinfo. [Online] [Dátum: 18. 03 2019.] <https://vetrani.tzbinfo.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/5738-uspora-energie-ve-vzduchotechnickych-zarizenich>.
11. **ČSN EN 12599** - Zkušební postupy a měřicí metody pro přejímky instalovaných větracích a klimatizačních systémů.
12. **ČSN EN 1507** - Větrání budov – Kovové plechové potrubí pravoúhlého průřezu – Požadavky na pevnost a těsnost.
13. **Eurovent 2/2** - Vzduchotesnost' plechových rozvodov vzduchu.
14. **Chyský Jaroslav, Hemzal Karel a kolektiv.** *Větrání a klimatizace.* Praha : BOLIT - B press Brno, 1993. ISBN 80-901574-0-8.

-
15. **ČSN 12 0017** – Metody měření a hodnocení hluku vzduchotechnických zařízení. Všeobecná ustanovení.
 16. **ČSN EN ISO 3746** – Akustika. Určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku. Provozní metoda měření ve volném poli nad odrazivou rovinou.
 17. **ČSN EN ISO 3747** – Akustika. Určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku. Technické/provozní metody pro použití in situ v dozvukovém prostředí.
 18. **ČSN EN ISO 7235** – Akustika – Laboratorní měřicí postupy pro tlumiče hluku v potrubí a vzduchotechnické koncové jednotky – Vložený útlum, vlastní hluk a celková tlaková ztráta.
 19. **Academic.** enacademic.com. [Online] [Datum: 28. 03 2019.] http://enacademic.com/pictures/enwiki/77/Moody_diagram.jpg.
 20. **Nařízení vlády č. 241/2018** o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Zoznam obrázkov

obr. 1 Spájanie potrubia rovnakého rozmeru – vnútorná spojka (prevzaté z(5))	13
obr. 2 Spájanie dvoch tvarových kusov – vonkajšia spojka (prevzaté z (5)).....	14
obr. 3 Spájanie potrubia a tvarového kusu – bez spojky (prevzaté z (5)).....	14
obr. 4 Zateplenie vzduchovodov izoláciou z minerálnej vlny s hliníkovou fóliou (prevzaté z (6)).....	15
obr. 5 Náradie na rezanie priamych kusov a tvaroviek systému CLIMAVÉR (prevzaté z ((8))	16
obr. 6 Profil PERFIVER L (prevzaté z (8))	17
obr. 7 Profil PERFIVER H (prevzaté z (8)).....	17
obr. 8 Spájanie plastového potrubia na hrdlo	18
obr. 9 Prírubby pre spojenie plastového potrubia (prevzaté z (9))	18
obr. 10 Graf znázorňujúci triedy tesnosti podľa EN 12237 a EN 1507 v závislosti statického tlaku na povolenom množstve uniknutého vzduchu.....	22
obr. 11 Zariadenie pre meranie vzduchovej tesnosti (prevzaté z (11)).....	24
obr. 12 Vzťah medzi minimálnou rýchlosťou v a priemerom sondy D_{so} (prevzaté z (11))	25
obr. 13 Relatívna neistota meranej hodnoty rýchlosti vzduchu Prandtlóvymi sondami s meracím zariadením tlakového rozdielu pre rôzne rozlíšenia (prevzaté z (11)).....	25
obr. 14 Schéma šírenia hluku od vzduchotechnického zariadenia (prevzaté z(14)).....	27
obr. 15 Útlm hluku v pravouhlom kolene bez obloženia o šírke b v závislosti na kmitočte f_m (prevzaté z (3))	28
obr. 16 Skúšobná zostava pre akustickú skúšku (prevzaté z (18))	32
obr. 17 Príklad použitého usporiadania zdroja zvuku (prevzaté z (18)).....	32
obr. 18 Príklady možného usporiadania prijímacej strany (prevzaté z (18)).....	33
obr. 19 Súčiniteľ trecích strát v závislosti na Re a pomernej drsnosti potrubia ε/d (prevzaté z (19)).....	36
obr. 20 Charakter prúdenia v oblúku (prevzaté z (1)).....	37
obr. 21 Priebeh tlaku v potrubnej sieti ventilátoru (prevzaté z (1)).....	38
obr. 22 Vzorové usporiadanie skúšok prietoku tlakovej straty (prevzaté z (18)).....	39
obr. 23 Najmenšia dĺžka prechodov v závislosti na pomere plôch prierezu S_2/S_1 (prevzaté z(18)).....	40
obr. 24 Schematické znázornenie skúšobných vzoriek s ich rozmermi	42
obr. 25 Príprava skúšobných vzoriek systému CLIMAVÉR.....	42

obr. 26 Přípravakušobných vzoriek pozinkovaného plechu.....	42
obr. 27 Vľavo vzorka CLIMAVÉR 1, vpravo vzorka Plech 1	43
obr. 28 Vľavo vzorka CLIMAVÉR 2, vpravo vzorka Plech 2	43
obr. 29 Škrtiaci člen centrickej clony	45
obr. 30 Snímač tlakovej diferencie 1	45
obr. 31 Snímač tlakovej diferencie 2	46
obr. 32 Turbínkový anemometer Schiltknecht	46
obr. 33 Dataloger Alnemo 2590	47
obr. 34 Clonková trať.....	47
obr. 35 Plynomer.....	48
obr. 36 Zvukový analyzátor	48
obr. 37 Ventilátor 1	49
obr. 38 Ventilátor 2	49
obr. 39 Schéma meracej trate pre skúšku tlakových strát.....	51
obr. 40 Umiestnenie turbínkového anemometra v potrubí	52
obr. 41 Graf závislosti tlakovej straty trením	54
obr. 42 Graf závislosti tlakovej straty miestnymi odpormi	55
obr. 43 Graf závislosti tlakovej straty trením	56
obr. 44 Graf závislosti tlakovej straty miestnymi odpormi	56
obr. 45 Graf závislosti tlakovej straty trením	57
obr. 46 Graf závislosti tlakovej straty miestnymi odpormi	58
obr. 47 Graf závislosti tlakovej straty miestnymi odpormi	59
obr. 48 Graf závislosti tlakovej straty trením	59
obr. 49 Schéma meracej trate pre skúšku vzduchotesnosti.....	61
obr. 50 Vľavo vzorka z pozinkovaného plechu, vpravo systém CLIMAVÉR.....	65
obr. 51 Schéma meracej trate pre útlm hluku	66
obr. 52 Priebeh merania útlmu hluku.....	67
obr. 53 Graf znázorňujúci útlmy hluku v oboch vzorkách vzduchovodov.....	69
obr. 54 Graf zobrazujúci zistené hodnoty ekvivalentnej hladiny akustického tlaku L _{feq} [dB].....	70
obr. 55 Graf zobrazujúci hodnoty útlmu hluku vo vzduchovodoch	70
obr. 56 Pracovný diagram ventilátora.....	76

Zoznam tabuliek

tab. 1 Tlakové prevedenie (prevzaté z (4))	12
tab. 2 Faktor vzduchotesnosti potrubia podľa ČSN EN 1507 (prevzaté z (12)).....	20
tab. 3 Faktor tesnosti podľa Eurovent 2/2 (prevzaté z (13))	21
tab. 4 Klasifikácia tried tesností podľa jednotlivých noriem	22
tab. 5 Ekvivalentné drsnosti stien vzduchovodov (prevzaté z (1))	36
tab. 6 Namerané hodnoty pre vzorku vzduchovodu CLIMAVÉR 1	54
tab. 7 Namerané hodnoty pre vzorku vzduchovodu CLIMAVÉR 2	55
tab. 8 Namerané hodnoty pre vzorku pozinkovaný plech 1	57
tab. 9 Namerané hodnoty pre vzorku pozinkovaný plech 2	58
tab. 10 Namerané hodnoty pre vzorku pozinkovaný plech 2	63
tab. 11 Namerané hodnoty pre vzorku CLIMAVÉR 2	63
tab. 12 Namerané hodnoty ekvivalentnej hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq}$	68
tab. 13 Namerané hodnoty ekvivalentnej hladiny akustického tlaku L_{feq} v oktávových pásmach	69
tab. 14 Prehľad plôch a cien vzduchovodov z pozinkovaného plechu a tepelnej izolácie	73
tab. 15 Prehľad plôch a cien vzduchovodov systému CLIMAVÉR	74
tab. 16 Potrebné množstvo dopravovaného vzduchu.....	75
tab. 17 Spotreba el. energie na prepravu vzduchu jedným ventilátorom.....	76
tab. 18 Spotreba el. energie na prepravu vzduchu všetkými ventilátormi.....	77

Prílohy

- Príloha A : Výkresová dokumentácia :
- Výkres č. 1: Půdorys 2. NP - JIH
 - Výkres č. 2: Půdorys 2. NP - SEVER
 - Výkres č. 3: Půdorys 3. NP - JIH
 - Výkres č. 4: Půdorys 3. NP - SEVER
 - Výkres č. 5: Půdorys 4. NP
 - Výkres č. 6: Půdorys 5. NP
 - Výkres č. 7: Půdorys 6. NP
 - Výkres č. 8: Půdorys 7. NP
- Príloha B : Výkaz výmer s cenovou ponukou